



TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI PENGARUH POLUTAN TERHADAP KINERJA PV
MODULE**

**Ikhsan Anwar Fuadi
NRP 07111645000028**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
Vita Listyaningrum, ST., M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 141599

STUDY OF THE EFFECT OF POLLUTANTS ON PV MODULE PERFORMANCE

**Ikhsan Anwar Fuadi
NRP 07111645000028**

**Advisor
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
Vita Listyaningrum, ST., M.Sc., Ph.D.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi Pengaruh Polutan Terhadap Kinerja PV Module**, adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Ikhsan Anwar Fuadi
NRP. 07111645000028

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PENGARUH POLUTAN TERHADAP KINERJA *PV MODULE*

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004**

**Vita Lystianingrum, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198208292006042001**



Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PENGARUH POLUTAN TERHADAP KINERJA PV *MODULE*

Nama Mahasiswa : Ikhsan Anwar Fuadi
NRP : 0711645000028
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
Vita Lystianingrum, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Panel *photovoltaic* merupakan satu alternatif penghasil energi listrik dimana mampu mengubah energi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Penumpukan debu pada permukaan panel *photovoltaic* dapat menyebabkan terhalangnya sinar matahari yang diterima *photovoltaic*. Dengan melakukan studi terhadap efek polutan berupa debu terhadap kinerja *photovoltaic module*, akan diketahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kinerja *photovoltaic*. Dengan melakukan eksperimen yaitu menaburkan debu 2 hingga 30 gram secara bertahap pada panel *photovoltaic*, dan dilakukan perekaman data arus, tegangan dan suhu permukaan *photovoltaic* didapatkan hasil jika semakin banyak debu pada permukaan panel *photovoltaic* maka nilai penurunan arus, tegangan, daya dan suhunya juga akan semakin besar. Hasil dari eksperimen menunjukan bahwa didapat $y = 0,3953x + 4,1982$ untuk pengaruhnya terhadap daya *photovoltaic* dengan luas permukaan $0,57 \text{ m}^2$ dan $y = 0,0989x + 2,1291$ untuk pengaruhnya terhadap suhu permukaan *photovoltaic* dengan luas permukaan $0,57 \text{ m}^2$.

Kata kunci : *Photovoltaic*, Debu, Daya, Suhu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Study Of The Effect Of Pollutants On PV Module Performance

Name Of Student : Ikhsan Anwar Fuadi
NRP : 07111645000028
Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
Vita Lystianingrum, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Photovoltaic panels are an alternative to producing electrical energy which is able to convert photon energy from sunlight into electrical energy. The dust accumulation on the surface of photovoltaic panels can lead to blocked sunlight received by photovoltaics. By studying the effects of pollutants in the form of dust on the performance of photovoltaic modules, it will be known how much it affects the performance of photovoltaic. By experimenting the dust 2 to 10 grams gradually on the photovoltaic panel, and conducted data recording for current, voltage and temperature of the photovoltaic surface. The results obtained if more and more dust on the surface of the photovoltaic panel then the value of decreased current, voltage, power and temperature will also be greater. The result of the experiment shows that the function is $y = 0,3953x + 4,1982$ for its effect on photovoltaic power and $y = 0,0989x + 2,1291$ for its effect on photovoltaic surface temperature with $0,57 \text{ m}^2$ surface area.

Keyword: Photovoltaic, Dust, Power, Temperature

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadiran Allah atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

STUDI PENGARUH POLUTAN TERHADAP KINERJA PV MODULE

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu dan mbak di rumah yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa.
3. Bapak Dr. Ir. Soedibyo, MMT dan ibu Vita Lystianingrum S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingan.
4. Gita yang selalu menemani dan memberikan dukungan dan berbagai hal.
5. Bayu, Hendry yang selalu membantu penyelesaian tugas akhir ini.
6. Seluruh teman - teman LJ 2016 atas kebersamaan dan kerjasamanya.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari setiap pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan kearah yang lebih baik.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Pembahasan.....	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI PENUNJANG	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait.....	5
2.2 Definisi dan Prinsip Kerja <i>Photovoltaic</i>	6
2.3 Karakteristik <i>Photovoltaic</i>	10
2.4 Hubungan intensitas cahaya dan daya output <i>photovoltaic</i> .	11
2.5 Hubungan Suhu dan Daya Output <i>Photovoltaic</i>	12
2.6 Rangakain Ekiivalen <i>Photovoltaic</i>	13
2.7 <i>Photovoltaic</i> System.....	15

2.8	Polutan.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		17
3.1	Perancangan Data Logger.....	18
3.1.1	Sensor tegangan	18
3.1.2	Sensor Arus.....	20
3.1.3	Sensor Suhu	20
3.2	Kalibrasi Data Logger	22
3.2.1	Kalibrasi Pengukuran Tegangan dan Arus.....	22
3.2.2	Kalibrasi Pengukuran Suhu.....	24
3.3	Perancangan Sistem.....	25
3.3.1	Panel <i>Photovoltaic</i>	26
3.3.2	Solar Charge Controller (SCC).....	27
3.3.3	Baterai.....	28
3.3.4	Beban	29
3.4	Pengambilan Data.....	29
BAB IV HASIL DAN ANALISA		31
4.1	Pengujian <i>Photovoltaic</i>	31
4.2	Pengaruh Polutan Debu Terhadap Tegangan <i>Photovoltaic</i> ..	32
4.3	Pengaruh Polutan Debu Terhadap Arus <i>Photovoltaic</i>	38
4.4	Pengaruh Polutan Debu Terhadap Daya Luaran <i>Photovoltaic</i> 44	
4.5	Pengaruh Polutan Debu Terhadap Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i>	51
BAB V PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA	59
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip kerja <i>Cell photovoltaic</i>	7
Gambar 2. 2 <i>Photovoltaic</i> jenis Monokristal	8
Gambar 2. 3 <i>Photovoltaic</i> Jenis Polikristal	9
Gambar 2. 4 <i>Photovoltaic</i> Jenis Amorphous.....	9
Gambar 2. 5 Kurva I-V dan P-V <i>Photovoltaic</i>	10
Gambar 2. 6 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva I-V.....	11
Gambar 2. 7 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva P-V....	12
Gambar 2. 8 Hubungan Suhu dan Kurva I-V	13
Gambar 2. 9 Hubungan Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i> dan Kurva P-V	13
Gambar 2. 10 Rangkaian Ekuivalen <i>Photovoltaic</i>	13
Gambar 2. 11 Skema sistem dari pembangkitan memanfaatkan energi matahari	15
Gambar 3. 1 Flowchart Jalannya Tugas Akhir.....	17
Gambar 3. 2 Skema Perancangan Data Logger	18
Gambar 3. 3 Rangkaian Pembagi Tegangan dan Modul Sensor Tegangan.....	19
Gambar 3. 4 Sensor Arus ACS712.....	20
Gambar 3. 5 Rangkaian Pembagi Tegangan dan NTC.....	21
Gambar 3. 6 Pemasangan Sensor Suhu NTC Pada Bagian Belakang Panel.....	22
Gambar 3. 7 DC power supply merk Protek seri PL-3005T dan resistor 25 ohm 5 Ampere.....	23
Gambar 3. 8 Termometer Infra Merah	24
Gambar 3. 9 Skema Sistem	26
Gambar 3. 10 Spesifikasi Panel <i>Photovoltaic</i>	27
Gambar 3. 11 Solar Charge Controller EPEVER 1210A.....	28
Gambar 3. 12 Baterai Luminous 12V 7AH.....	29
Gambar 3. 13 Lokasi Pengambilan Data.....	30
Gambar 4. 1 Pengujia <i>Photovoltaic</i> dengan debu	32
Gambar 4. 2 Kurva Pengaruh Debu Pada Tegangan <i>Photovoltaic</i>	36
Gambar 4.3 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Tegangan	37
Gambar 4. 4 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Arus <i>Photovoltaic</i> ..	42
Gambar 4. 5 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Arus .	43
Gambar 4. 6 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Daya <i>Photovoltaic</i> ..	48

Gambar 4. 7 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Daya	49
Gambar 4. 8 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i>	54
Gambar 4. 9 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Daya	56

DAFTAR TABEL

Gambar 2. 1 Prinsip kerja <i>Cell photovoltaic</i>	7
Gambar 2. 2 <i>Photovoltaic</i> jenis Monokristal	8
Gambar 2. 3 <i>Photovoltaic</i> Jenis Polikristal	9
Gambar 2. 4 <i>Photovoltaic</i> Jenis Amorphous.....	9
Gambar 2. 5 Kurva I-V dan P-V <i>Photovoltaic</i>	10
Gambar 2. 6 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva I-V.....	11
Gambar 2. 7 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva P-V....	12
Gambar 2. 8 Hubungan Suhu dan Kurva I-V	13
Gambar 2. 9 Hubungan Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i> dan Kurva P-V	13
Gambar 2. 10 Rangkaian Ekuivalen <i>Photovoltaic</i>	13
Gambar 2. 11 Skema sistem dari pembangkitan memanfaatkan energi matahari	15
Tabel 3. 1 Data Hasil Kalibrasi Sensor Arus dan Tegangan	23
Tabel 3. 2 Hasil Kalibrasi Sensor Suhu.....	25
Tabel 3. 3 Tabel Spesifikasi Panel <i>Photovoltaic</i>	27
Tabel 4. 1 Pengaruh Debu Terhadap Tegangan <i>Photovoltaic</i>	37
Tabel 4. 2 Pengaruh Debu Terhadap Arus <i>Photovoltaic</i>	43
Tabel 4. 3 Pengaruh Debu Terhadap Daya <i>Photovoltaic</i>	49
Tabel 4. 4 Pengaruh Debu Terhadap Suhu Permukaan <i>Photovoltaic</i>	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia penggunaan sumber energi tak terbarukan masih menjadi pilihan utama, sedangkan ketersediaan sumber energi tersebut lama kelamaan akan menipis. Selain itu sumber energi tak terbarukan ini juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan karena mengeluarkan emisi yang cukup tinggi. Oleh karena itu dirasa perlu untuk pemanfaatan sumber energi terbarukan, salah satu contoh sumber energi terbarukan yang mudah didapat adalah cahaya matahari [1]. Energi dari cahaya matahari dirasa tepat untuk wilayah daerah Indonesia karena tepat pada wilayah khatulistiwa. Untuk memanfaatkan sumber energi berupa cahaya matahari ini diperlukan sebuah *photovoltaic module* (PV).

Photovoltaic module akan mengeluarkan daya sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima *photovoltaic* tersebut. Faktor yang mempengaruhi tingkat intensitas cahaya yang diterima adalah kondisi lokasi, musim, kondisi awan, dan bentuk insolasi dari cahaya matahari ke *photovoltaic*. Selain itu polutan seperti debu yang menempel tanpa adanya *treatment* atau pembersihan pada suatu *photovoltaic* juga akan berpotensi mengurangi kinerja suatu *photovoltaic module*.

Polutan sendiri merupakan zat atau bahan yang kadarnya melebihi ambang batas serta berada pada waktu dan tempat yang tidak tepat, sehingga merupakan bahan pencemar lingkungan [2]. Bentuk dari polutan bermacam-macam yaitu debu, suara, gas, dan asap. Jenis polutan yang dimaksudkan dapat mempengaruhi daya luaran dari *photovoltaic* disini adalah debu. Adanya debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic* tersebut akan mengakibatkan tidak maksimalnya kerja solar sel yang ada pada *photovoltaic* dalam menyerap cahaya. Arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* sangat bergantung pada intensitas cahaya yang diserap *photovoltaic*, sehingga debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic* ini juga sedikit banyak akan mempengaruhi daya luaran dari *photovoltaic*. Selama ini kebanyakan orang tidak mempertimbangkan faktor polutan berupa debu pada sistem *photovoltaic* kebanyakan hanya

mempertimbangkan faktor intensitas cahaya, dan suhu untuk memperoleh daya maksimal *photovoltaic*. Dengan mempertimbangkan faktor polutan berupa debu diharapkan menjadi parameter pertimbangan untuk memperoleh daya maksimal dari *photovoltaic*. Sehingga diharapkan dilakukan treatment secara berkala untuk mengurangi penurunan daya akibat debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic*.

Karena itu, perlu diadakan studi mengenai dampak polutan yang menempel pada *photovoltaic* terhadap daya luarannya. Tugas akhir ini meneliti tentang seberapa besar pengaruh akumulasi atau kumpulan polutan berupa debu yang menempel pada permukaan panel *photovoltaic* dengan hasil daya luaran dan juga suhu permukaannya. Untuk mengetahui seberapa besar dampak akumulasi polutan debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic* terhadap daya luarannya, pada penelitian dilakukan perekaman data arus dan tegangan untuk perhitungan daya *photovoltaic*. Selain itu untuk mengetahui seberapa besar dampak akumulasi polutan debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic* terhadap suhu permukaannya, pada penelitian ini dilakukan juga perekaman data suhu. Untuk itu pada penelitian ini juga dilakukan desain dan implementasi *data logger* untuk perekaman data terkait.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah polutan debu yang menempel pada *photovoltaic* dapat mempengaruhi daya luaran *photovoltaic*?
2. Seberapa besar pengaruh polutan berupa akumulasi debu terhadap nilai arus, tegangan, dan juga daya luaran *photovoltaic*?
3. Seberapa besar pengaruh polutan berupa akumulasi debu terhadap nilai suhu permukaan *photovoltaic*?

1.3 Batasan Masalah

1. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah polutan berupa debu tidak muncul secara alami melainkan ditaburkan secara bertahap setiap 2 gram pada panel *photovoltaic* dengan luas permukaan 0,57 m².

2. Parameter yang diukur adalah daya dan suhu *photovoltaic module* akibat polutan.
3. Tempat penelitian yang digunakan adalah kawasan kampus ITS.

1.4 Tujuan Pembahasan

Tugas akhir yang diusulkan memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh polutan yang menempel pada permukaan *photovoltaic module* terhadap daya *output* dan suhu dari *photovoltaic module*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mempelajari dasar teori tentang karakteristik, prinsip kerja dari *photovoltaic generation*, mempelajari karakteristik komponen elektronika yang digunakan untuk *data logger* pengukuran *photovoltaic module*.

2. Desain dan Perancangan

Merencanakan desain *data logger* pengukuran besaran pada *photovoltaic* sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Merealisasikan hasil desain dalam bentuk perangkat nyata. Melakukan koreksi jika diperlukan agar *data logger* dapat bekerja secara akurat.

3. Implementasi dan Pengumpulan Data

Mengimplementasikan *data logger* yang sudah dibuat dan dipasang pada suatu sistem pembangkitan menggunakan *photovoltaic module*, mengambil data sesuai parameter yang ditentukan dalam kurun waktu tertentu.

4. Analisis Data dan Pembuatan Laporan

Membandingkan data yang didapat dengan literatur ataupun jurnal yang menjadi tinjauan pustaka, melakukan analisis dan menyusun laporan terkait hasil yang didapat dari penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini akan dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika penyusunan laporannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan relevansi

BAB II : KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini berisi teori – teori yang digunakan sebagai penunjang dalam tugas akhir ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN.

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan untuk melakukan pengujian sehingga didapat hasil daya yang dikeluarkan dari *photovoltaic*.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil pengujian yang telah dilakukan. Analisa dan perbandingan dari hasil daya yang dihasilkan dari dua *photovoltaic*.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi letaratur dan analisa yang telah dilakukan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dipaparkan kajian pustaka dan dasar teori yang relevan dengan topik tugas akhir ini. Kajian pustaka terkait dirangkum di subbab 2.1, diikuti dengan teori penunjang di subbab-subbab berikutnya.

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Photovoltaic merupakan salah satu alternatif energi terbarukan yang cukup mendapatkan perhatian. *Photovoltaic* dianggap dapat menjadi solusi masalah ketersediaan sumber energi tak terbarukan yang semakin hari semakin menipis. Banyak peneliti yang melakukan studi terhadap potensi energi yang dihasilkan di suatu daerah. Faktor faktor yang menentukan besar daya luaran dari *photovoltaic module* salah satunya adalah intensitas cahaya dan bentuk insolasi yang teradiasi pada panel *photovoltaic*. Salah satu penelitian yang dilakukan adalah tentang waktu *photovoltaic module* akan mengeluarkan daya maksimum, karena waktu erat kaitannya dengan besar intensitas cahaya yang dapat diterima. Pada penelitian tersebut didapat hasil bahwa *photovoltaic module* akan menghasilkan daya maksimum pada pukul 11.00 hingga 13.00 dalam keadaan cuaca cerah [3].

Suhu juga merupakan parameter pembanding, seperti yang ditunjukkan pada hasil penelitian yang dilakukan Kho Hie Khwee [4], di mana daya yang dihasilkan dari panel *photovoltaic* akan menurun seiring dengan naiknya suhu permukaan *photovoltaic*

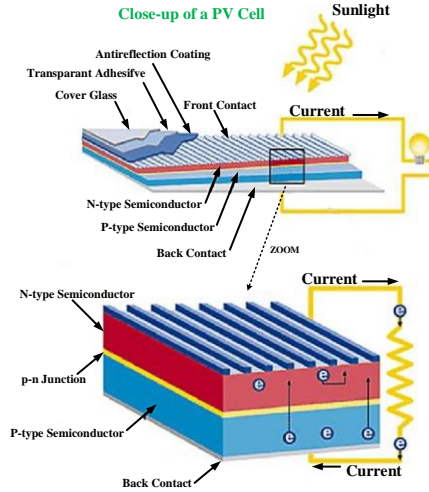
Faktor lain yang dapat mempengaruhi performansi dari suatu *photovoltaic generation* adalah faktor polutan. Faktor polutan sangat erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sekitar *photovoltaic module*, sehingga pemilihan lokasi *photovoltaic module* merupakan suatu hal yang perlu diutamakan. Merujuk pada hasil penelitian dari Hussein A Kazem., suatu *photovoltaic module* yang dibiarkan terkena polutan berupa debu dan hanya dibersihkan melalui air hujan akan mengalami penurunan daya luaran jika dibandingkan dengan *photovoltaic module* yang tetap terjaga bersih [5].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Kadhum dkk menunjukkan bahwa baik arus maupun tegangan akan sama-sama terpengaruh oleh adanya debu yang menempel. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen dengan menambahkan debu secara manual per 10 gram, dan hasilnya menunjukkan bahwa semakin banyak debu yang diletakkan diatas *photovoltaic* maka tegangannya akan semakin menurun. Sedangkan arusnya akan terus menurun sampai pada titik jumlah debu adalah 90 gram di mana arus akan stabil tidak terjadi penurunan kembali [6]. Penurunan daya luaran dari *photovoltaic module* disebabkan karena debu yang menempel pada permukaan *photovoltaic module* akan menghalangi sinar cahaya yang diterima oleh permukaan *photovoltaic module*.

Penelitian penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa hujan merupakan pembersih alami dari *photovoltaic module*, selain itu tempat instalasi *photovoltaic module* juga mempengaruhi jumlah debu yang terkumpul di permukaan *photovoltaic module* sehingga pemilihan tempat merupakan faktor yang cukup penting. Semua penelitian yang telah disebutkan diatas akan menjadi acuan penulis dalam melakukan analisis terhadap daya luaran *photovoltaic module* yang terkena efek polutan.

2.2 Definisi dan Prinsip Kerja Photovoltaic

Photovoltaic atau biasa disingkat *photovoltaic* atau juga dikenal sebagai *solar cell* merupakan sebuah material atau peralatan yang dapat mengkonversi energi *photon* dalam cahaya menjadi tegangan dan arus listrik. Cara kerja dari *photovoltaic* hampir sama dengan dioda dengan dua tipe yaitu tipe p dan tipe n. Muatan elektron dan *hole* terdapat pada setiap cell *photovoltaic*. Elektron akan terbentuk di layer n dan *hole* pada layer p. Saat energi cahaya me-radiasi cell *photovoltaic* memunculkan elektron dan *hole*. Elektron tersebut akan lepas dan bergerak sedangkan *hole* akan terkumpul dilayer p. Jika suatu konduktor (beban) melekat pada sisi negative dan positif *photovoltaic* dan membentuk suatu rangkaian listrik, maka electron yang lepas tersebut akan diterima dalam bentuk arus listrik [7]. Prinsip kerja *cell photovoltaic* dapat dilihat pada Gambar 2. 1



Gambar 2. 1 Prinsip kerja *Cell photovoltaic* [8]

Besar kecilnya arus yang dihasilkan pada suatu *photovoltaic* bergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima, semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin besar juga arus dan daya yang dihasilkan *photovoltaic* tersebut. Besar kecilnya suatu cahaya yang dapat diterima *photovoltaic* bergantung dari banyak hal seperti lokasi penempatan *photovoltaic*, sebagai contoh kita hidup di Indonesia yang memiliki iklim tropis yang berarti mempunyai lama siang dan malam hampir sama sepanjang tahun atau disebut equinox, berarti jika *photovoltaic* ditempatkan di Indonesia maka akan mengalami radiasi sekitar 12 jam setiap harinya jika diasumsikan cuaca baik dan cerah. Dibandingkan dengan di negara yang beriklim sub-tropis maka lama siang dan malam mereka tidaklah sama setiap bulannya, sehingga radiasi yang diterima *photovoltaic* setiap bulannya juga tidak sama seperti di Indonesia[4]. Selain lokasi yang berkaitan dengan iklim suatu daerah juga lokasi penempatan *photovoltaic* tersebut dalam hal ini sebaiknya dipilih lokasi tanpa adanya suatu benda atau bangunan yang akan menghalangi cahaya matahari menuju *photovoltaic* sehingga energi cahaya dapat secara sempurna dikonversikan ke energi listrik. Saat cuaca cerah dan langit bersih tanpa awan, cahaya matahari akan langsung menuju

permukaan bumi tanpa terhalang awan sehingga cahaya matahari yang diterima oleh permukaan *photovoltaic* akan semakin banyak. Bentuk radiasi cahaya matahari yang diterima oleh permukaan *photovoltaic* pada saat kondisi langit bersih tanpa awan dibagi menjadi tiga, yaitu direct-beam radiation, diffuse radiation, dan reflected radiation [4].

Ada beberapa jenis panel *photovoltaic* yang ada dipasaran. Diantaranya adalah:

1. Monokristal (*mono-crystalline*)

Merupakan jenis *photovoltaic* yang paling tinggi dalam efisiensi jika dibandingkan dengan jenis lain akan tetapi kelemahannya adalah tidak dapat beroperasi dengan baik saat kondisi cahaya matahari kurang (mendung). Efisiensi dari jenis ini berkisar antara 12-15% akan tetapi akan turun secara tajam saat kondisi cahaya tidak mendukung. Mengenali *photovoltaic* jenis ini cukup mudah yaitu panel *photovoltaic* dengan warna hitam gelap dengan tiap sudutnya terpotong[9]. *Photovoltaic* jenis monokristal dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 *Photovoltaic* jenis Monokristal [9]

2. Polikristal (*poly-crystalline*)

Merupakan jenis *photovoltaic* merupakan jenis panel *photovoltaic* yang digunakan pada tugas akhir ini. Walaupun jenis ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah dari jenis *mono-crystalline* tetapi jenis ini masih dapat bekerja dengan baik saat cahaya matahari kurang (saat

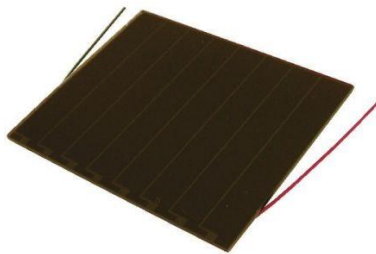
mendung). Efisiensi dari jenis ini adalah 10-12% akan tetapi untuk menghasilkan daya yang sama dengan panel *photovoltaic* jenis mono-crystalline, poly-crystalline membutuhkan luas permukaan yang lebih besar. Ciri dari jenis ini adalah cellnya yang berbentuk persegi dan berwarna lebih terang [9]. *Photovoltaic* jenis polikristal dapat dilihat pada Gambar 2. 3



Gambar 2. 3 *Photovoltaic* Jenis Polikristal [9]

3. Amorphous

Jenis ini mempunyai tingkat efisiensi yang cukup rendah yakni hanya 4-6% dan pada pengaplikasiannya banyak digunakan di kalkulator. Amorphous sendiri memiliki arti tanpa bentuk, dinamakan tanpa bentuk karena material penyusun yang berupa silikon tersebut tidak terstruktur dan tidak mengkristal. Ciri-ciri dari panel *photovoltaic* jenis ini adalah warnanya yang kecoklatan [9]. *Photovoltaic* jenis amorphous dapat dilihat pada Gambar 2. 4

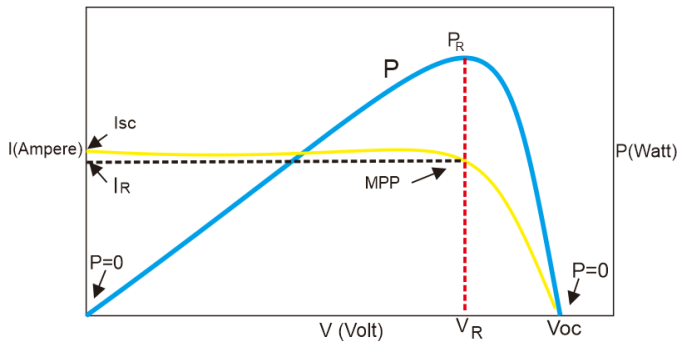


Gambar 2. 4 *Photovoltaic* Jenis Amorphous [9]

Selain jenis-jenis di atas juga masih ada beberapa jenis seperti jenis *ribbon-silicon*, *cadmium telluride*, *galium arsenide* dan lain-lain.

2.3 Karakteristik *Photovoltaic*

Setiap panel *photovoltaic* tentu memiliki karakteristik yang berbeda tergantung daya maksimum yang dapat dihasilkan. Setiap panel *photovoltaic* yang beredar dipasaran juga pasti telah melewati serangkaian test atau uji coba sehingga didapatkan parameter-parameter seperti tegangan maximum power point (V_{mpp}), arus maximum power point (I_{mpp}), arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), daya maksimum (P_{max}) yang merupakan karakteristik dari panel *photovoltaic* tersebut. Semua parameter di atas diuji dalam standar pengujian internasional atau STC (*Standard Test Condition*). Standar ini mengacu pada parameter-parameter seperti intensitas cahaya sebesar 1000W/m^2 , suhu 25°C , dan masa udara 1.5. Dari hasil STC tersebut didapatkan hubungan arus dan tegangan yang direpresentasikan pada kurva I-V dan P-V. Kurva I-V dan P-V dapat dilihat pada Gambar 2.5



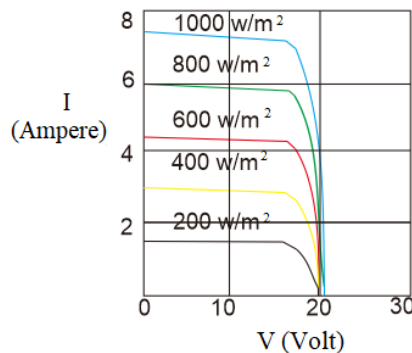
Gambar 2.5 Kurva I-V dan P-V *Photovoltaic*

Gambar di atas menunjukkan saat panel diberi suatu beban R variabel. Dengan intensitas cahaya yang konstan semakin besar nilai resistansi yang dibebankan terhadap *photovoltaic* maka semakin besar juga nilai tegangannya (mendekati V_{oc}). Disisi lain saat semakin besar nilai resistansi yang dibebankan terhadap *photovoltaic* dengan intensitas cahaya yang sama maka nilai arusnya akan semakin kecil (mendekati nol). Sebaliknya, dengan intensitas cahaya yang konstan saat semakin

kecil nilai resistansi yang dibebankan terhadap *photovoltaic* maka semakin kecil juga nilai tegangannya (mendekati nol). Disisi lain saat semakin kecil nilai resistansi yang dibebankan terhadap *photovoltaic* dengan intensitas cahaya yang sama maka nilai arusnya akan semakin besar (mendekati I_{sc}). Karena daya merupakan nilai perkalian antara tegangan dan arus, maka untuk mendapatkan nilai daya maksimum dari panel *photovoltaic* tidak didapat dari nilai V_{oc} maupun I_{sc} . Untuk menghasilkan daya maksimum (P_{max}) maka nilai tegangan yang dibutuhkan adalah saat tegangan berada pada titik V_{mpp} dan arus berada pada titik I_{mpp} [10].

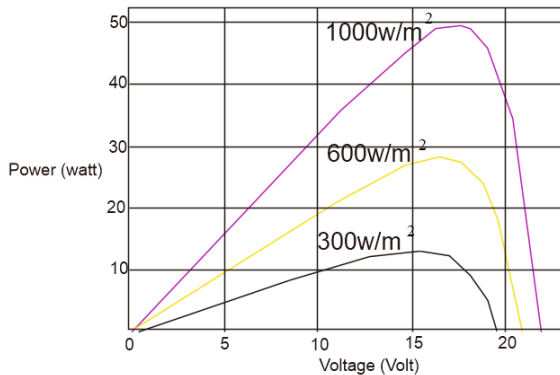
2.4 Hubungan intensitas cahaya dan daya output *photovoltaic*

Intensitas cahaya yang diterima oleh suatu *photovoltaic* tentulah tidak sama tiap waktunya. Saat pagi hari tentunya banyaknya sinar matahari yang dapat diterima oleh panel *photovoltaic* untuk selanjutnya diubah menjadi arus listrik lebih sedikit jika dibandingkan dengan tengah hari. Untuk itu parameter parameter karaktertik dari suatu *photovoltaic* juga berubah tergantung dari banyaknya nilai irradiansi dari matahari yang diterima oleh panel *photovoltaic* tersebut dalam satuan Watt per meter kuadrat (W/m^2). Semakin besar nilai irradiansi yang diterima *photovoltaic*, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan. Berikut adalah hubungan kurva I-V dan pengaruhnya terhadap intensitas cahaya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2. 6



Gambar 2. 6 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva I-V

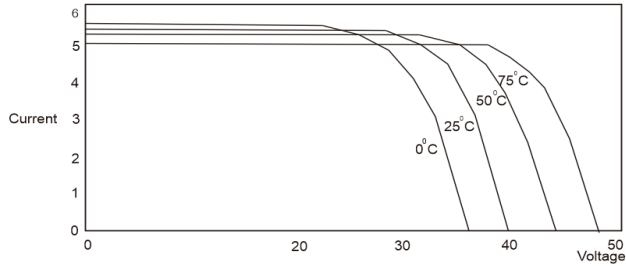
Selain mempengaruhi kurva I-V, tingkat radiasi cahaya matahari yang diterima *potovoltaic* juga berpengaruh terhadap kurva P-V nya. Semakin tinggi tingkat radiasi matahari yang diterima panel *photovoltaic*, maka semakin besar pula daya maksimum yang dapat dihasilkan dari panel *photovoltaic* tersebut. Berikut adalah gambaran hubungan intensitas cahaya atau radiasi pada *photovoltaic* dan daya keluarannya [10] Hubungan kurva P-V dan besarnya intensitas matahari dapat dilihat pada Gambar 2. 7



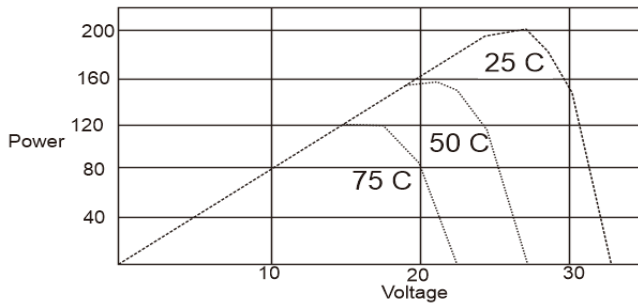
Gambar 2. 7 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari dan Kurva P-V

2.5 Hubungan Suhu dan Daya Output *Photovoltaic*

Selain tingkat radiasi matahari, suhu pada permukaan panel *photovoltaic* itu sendiri juga cukup berpengaruh. Suatu *photovoltaic* mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik, selain energi cahaya yang diserap, cahaya matahari juga mengakibatkan naiknya suhu dari permukaan *photovoltaic*. Semakin tinggi suhu permukaan *photovoltaic* menyebabkan menurunnya daya keluaran dari *photovoltaic* [4] tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}) juga bergantung dari suhu dari permukaan *photovoltaic*. Berikut adalah hubungan kurva I-V dan kurva P-V dengan suhu permukaan dari *photovoltaic*. Hubungan Suhu dengan Kurva I-V dan P-V dapat dilihat pada Gambar 2. 8 dan Gambar 2. 9



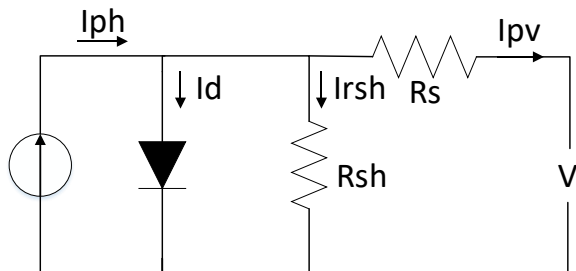
Gambar 2. 8 Hubungan Suhu dan Kurva I-V



Gambar 2. 9 Hubungan Suhu Permukaan *Photovoltaic* dan Kurva P-V

2.6 Rangkaian Ekuivalen *Photovoltaic*

Rangkaian pengganti atau rangkaian ekuivalen dari sebuah sel *photovoltaic* dapat digambarkan seperti berikut.



Gambar 2. 10 Rangkaian Ekuivalen *Photovoltaic*

Sebuah sel *photovoltaic* rangkaian penggantinya terdiri dari sebuah sumber arus (I_L) sebuah dioda dan dua buah resistan [10]. Arus yang dihasilkan oleh sebuah sel surya bergantung pada intensitas cahaya dan suhu yang diterima pada satu waktu, sehingga nilai dari arus akan berubah tiap waktu tergantung besar kecilnya nilai irradiansi dan suhunya. Semakin besar irradiansi maka intensitas cahaya semakin besar, juga akan meningkatkan suhu dari permukaan sel surya tersebut. R_s dan R_{sh} merupakan penggambaran tentang adanya kerugian internal dari sel surya, dimana R_s adalah resistansi seri dari sel surya dan R_{sh} adalah resistansi paralel dari sel surya. Besarnya nilai resistansi ini dapat bertambah seiring dengan usia *photovoltaic*. Biasanya semakin lama usia *photovoltaic* maka semakin besar pula nilai resistansinya sehingga semakin besar pula rugi rugi internal dari sebuah *photovoltaic*. Besarnya arus yang dihasilkan oleh satu sel surya adalah sebagai berikut:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{rsh} \quad (2.1)$$

Dimana:

I_{pv} : Arus yang keluar dari sel surya

I_{ph} : Arus yang dihasilkan oleh cahaya matahari

I_d : Arus Dioda

I_{rsh} : Arus Resistansi

Persamaan diatas dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut,

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_s \exp \left(\frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s N k T_c} - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Dimana:

I_s : Arus saturasi sel surya

q : Elektron = 1.6×10^{-19} C

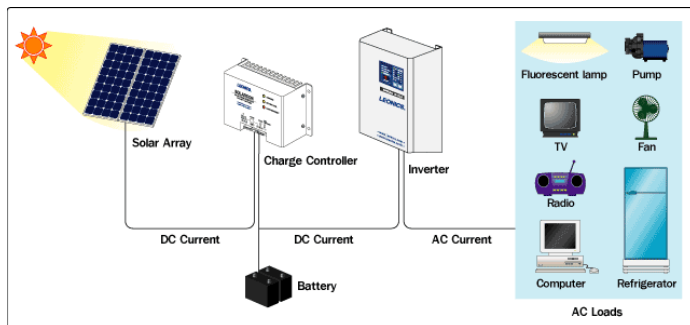
V_{pv} : Tegangan pada sel

T_c : Suhu kerja sel

- Rs : Hambatan seri
- Rsh : Hambatan shunt
- n : Faktor Ideal
- k : Konstanta Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/K
- Ns : Jumlah sel surya yang disusun seri
- Np : Jumlah sel surya yang disusun paralel

2.7 Photovoltaic System

Pada umumnya suatu sistem pembangkitan menggunakan modul sel surya atau *photovoltaic* terdiri dari beberapa komponen. Komponen komponen tersebut terdiri dari panel *photovoltaic*, solar charge controller, baterai, lalu juga inverter yang terhubung langsung ke beban AC. Skema sistem dari pembangkitan memanfaatkan energi matahari dapat dilihat pada Gambar 2. 11



Gambar 2. 11 Skema sistem dari pembangkitan memanfaatkan energi matahari

Panel *photovoltaic* merupakan komponen utama dari sebuah sistem pembangkitan tenaga surya, dari panel *photovoltaic* energi cahaya matahari yang diterima dikonversi menjadi arus listrik searah atau direct current (DC). Komponen selanjutnya adalah baterai, baterai digunakan sebagai storage atau tempat penyimpanan daya yang dihasilkan oleh sistem, sehingga saat kondisi tidak ada cahaya matahari seperti saat malam hari, beban dapat tetap terlayani dengan memanfaatkan energi dari baterai. Sebuah Solar Charge Controller digunakan untuk mengatur arus

pengisian baterai, mencegah baterai yang terpasang pada sistem over-charge ataupun over discharge. Saat kondisi baterai penuh maka aliran arus menuju baterai akan dihentikan, sebaliknya saat kondisi baterai sudah kosong maka aliran arus dilewatkan lagi ke baterai. Pada solar charge controller ini juga terdapat DC to DC konverter yang berguna untuk menyesuaikan tegangan yang dihasilkan *photovoltaic* dan tegangan baterai yang pada umumnya adalah 12 atau 24 Volt. Pada suatu sistem pembangkitan tenaga surya, karena beban yang ada dan umumnya digunakan merupakan beban jenis AC sedangkan arus dan tegangan yang terbangkit dari panel *photovoltaic* adalah DC maka sebuah inverter atau konverter yang berguna mengubah DC ke AC (Alternating Current) juga digunakan.

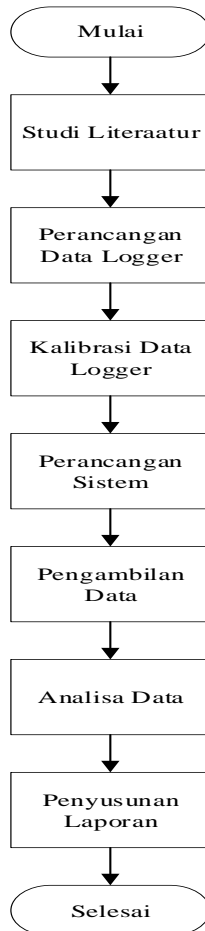
2.8 Polutan

Arti polutan sebenarnya adalah suatu bahan ataupun benda yang dapat menyebabkan pencemaran. Pencemaran dapat terjadi juga di udara, khususnya yang umum dijumpai dan terlihat oleh mata adalah debu. Debu merupakan zat kimia padat yang disebabkan oleh kekuatan alami maupun mekanis seperti pengolahan maupun penghancuran [11]. Banyaknya industri juga mempengaruhi banyaknya partikel debu yang beterbangan di udara, seperti hasil pembakaran batu bara, dan juga proses industri lainnya. Sangat besar kemungkinan dimana penumpukan debu terakumulasi pada permukaan *photovoltaic* dan menyebabkan terhalangnya sinar matahari menuju sel pada *photovoltaic* sehingga menyebabkan menurunnya daya yang dihasilkan dari *photovoltaic* tersebut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan dengan alur seperti pada Gambar 3.1 diagram alir dibawah. Penjelasan detail mengenai pelaksanaan penelitian akan diberikan pada subbab-subbab selanjutnya.

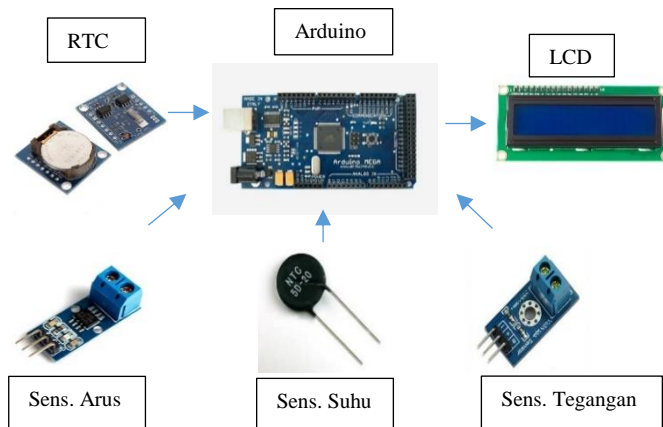


Gambar 3. 1 Flowchart Jalannya Tugas Akhir

Detail dari setiap alur pada Flowchart diatas adalah sebagai berikut:

3.1 Perancangan Data Logger

Untuk mengetahui performansi dari sistem pembangkitan menggunakan *photovoltaic* variabel yang menjadi acuan utama adalah daya yang dihasilkan oleh sistem pembangkitan itu sendiri. *Photovoltaic* akan menghasilkan energi listrik jenis DC (direct current) sehingga penentuan daya keluaran dari *photovoltaic* dapat dihitung dari hasil perkalian antara tegangan keluaran *photovoltaic* dan arus keluaran *photovoltaic*. Oleh sebab itu penulis menggunakan modul sensor tegangan dan sensor arus. Selain menggunakan sensor tegangan dan sensor arus, sensor suhu juga terpasang di data logger untuk melihat pengaruh menempelnya polutan terhadap suhu *photovoltaic*. Kontroler yang digunakan pada data logger merupakan arduino jenis mega.



Gambar 3. 2 Skema Perancangan Data Logger

3.1.1 Sensor tegangan

Prinsip dari sensor tegangan yang digunakan sebenarnya merupakan voltage divider atau rangkaian pembagi tegangan. Prinsip kerjanya adalah mengkonversi tegangan input menjadi tegangan yang lebih kecil sehingga ramah dan dapat diterima oleh analog input dari

kontroller arduino. Karena *photovoltaic* yang digunakan memiliki nilai maximum power voltage (mpp) sekitar 18 volt dan tegangan open circuit (voc) sekitar 22 volt. Sehingga digunakan sensor yang memiliki range dari 0 hingga 25 volt. Tegangan 25 volt tadi akan dikonversi menjadi tegangan 5 volt ke pin analog input arduino, sehingga perbandingan dua nilai resistor yang digunakan adalah $\frac{1}{5}$. Perhitungan tersebut didapat dari persamaan sebagai berikut:

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{in}$$

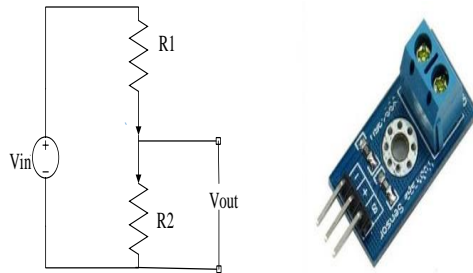
Dimana:

V_o : Tegangan antara dua resistor, akan masuk ke analog pin arduino

$R_2 \& R_1$: Resistor pembagi tegangan dimana nilai $\frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{1}{5}$

V_{in} : Tegangan yang sebenarnya terukur (tegangan *photovoltaic*)

Berikut adalah gambar rangkaian pembagi tegangan dan modul sensor tegangan:



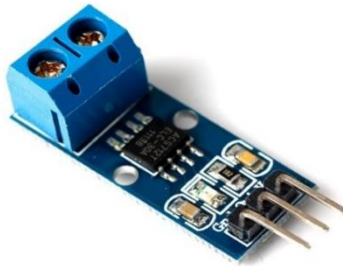
Gambar 3. 3 Rangkaian Pembagi Tegangan dan Modul Sensor Tegangan [12]

Nilai tegangan yang didapat lalu dirubah menjadi nilai analog oleh ADC 10 bit dari arduino. Sehingga nilai tegangan 0 hingga 5 volt akan dikonversi menjadi nilai ADC 0 hingga 1023 oleh arduino.

3.1.2 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan merupakan sensor arus tipe ACS712 yaitu sensor arus yang menggunakan prinsip kerja hall effect, yaitu sebuah transduser yang dapat mengubah informasi magnetik menjadi sinyal listrik.

Pada ACS712 ini arus akan dilewatkan pada sebuah jalur tembaga, lalu saat arus listrik mengalir secara kontinyu dan karena posisinya berdekatan dengan medan magnet maka muatan positif dan negatif elektron yang mengalir karena adanya arus akan terkelompokan pada dua sisi tembaga sehingga timbul beda potensial dan tegangan. Arus dan tegangan akan berbanding lurus, yang berarti setiap ada kenaikan nilai arus maka nilai tegangan output sensor juga akan naik. Nilai tegangan output tersebut masuk kedalam analog input arduino yang akan dirubah menjadi nilai analog oleh ADC 10 bit dari arduino selanjutnya setelah itu barulah nilai arus bisa didapatkan.



Gambar 3. 4 Sensor Arus ACS712 [13]

3.1.3 Sensor Suhu

Pengukuran suhu pada data logger menggunakan sensor NTC yaitu *Negative Thermistor Coefficient*. NTC sendiri merupakan Thermistor atau sebuah resistor dimana nilai hambatannya dipengaruhi oleh suhu. Pada jenis NTC, semakin besar suhu maka semakin kecil nilai resistansinya. Pada implementasinya, karena kontroler arduino tidak dapat membaca nilai resistansi secara langsung, maka nilai resistansi ini perlu dikonversikan menjadi nilai tegangan, sehingga kontroler arduino

dapat membacanya. Konversi nilai resistansi menjadi tegangan dilakukan menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan atau voltage divider, nilai resistansi yang dihasilkan dari NTC nilainya tidak tetap atau berubah-ubah sesuai dengan suhunya, karena nilai resistansinya berubah sehingga nilai tegangan output rangkaian juga akan berubah ubah. Perhitungan rangkaian pembagi tegangan NTC adalah sebagai berikut:

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{in} \quad (3.1)$$

Dimana:

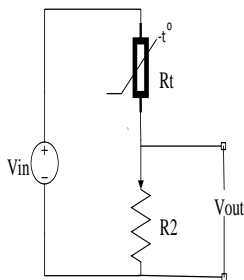
V_o : Tegangan antara nilai Resistor dan NTC, akan masuk ke analog pin arduino

R_1 : Nilai resistor yang tetap

R_2 : Nilai resistansi NTC berdasarkan suhu

V_{in} : Tegangan input NTC 5 volt

NTC terhubung secara seri dengan sebuah resistor dimana nilai perbandingan antara resistor dan resistansi dari NTC ini akan mempengaruhi tegangan keluaran (v_o), Tegangan keluaran dari rangakain tersebut akan masuk ke analog pin dari arduino dan selanjutnya akan dikonversi mlalui ADC pada arduino sehingga didapatkan nilai suhunya.



Gambar 3. 5 Rangkaian Pembagi Tegangan dan NTC [14]

Pengukuran suhu pada panel *photovoltaic* dilakukan dengan cara melekatkan sensor suhu jenis NTC pada bagian tengah belakang dari panel *photovoltaic*. Gambar pemasangan sensor dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini



Gambar 3. 6 Pemasangan Sensor Suhu NTC Pada Bagian Belakang Panel

3.2 Kalibrasi Data Logger

Tujuan dari kalibrasi hardware adalah untuk menguji data logger yang telah dibuat agar pengukuran yang dilakukan dapat sesuai standar yang ada dan mengetahui berapa persen nilai error atau kesalahan pembacaan dari data logger yang telah dibuat sehingga saat data logger diimplementasikan pada sebuah sistem *photovoltaic*, diharapkan data yang direkam merupakan data yang akurat dan presisi. Kalibrasi data logger untuk pengukuran tegangan (V), arus (I) dan juga suhu (T) pada data logger ini menggunakan alat ukur yang sudah ada dipasaran.

3.2.1 Kalibrasi Pengukuran Tegangan dan Arus

Untuk pengujian pengukuran nilai tegangan dan arus pada data logger menggunakan DC power supply merk Protek seri PL-3005T sebagai sumber tegangan dan arus, lalu kedua data logger dibebani dengan resistor 25 ohm 5 Ampere.



Gambar 3. 7 DC power supply merk Protek seri PL-3005T dan resistor 25 ohm 5 Ampere.

Untuk pengujian pengukuran arus, kedua sensor arus dan beban dihubungkan secara seri. Untuk pengujian pengukuran tegangan, kedua sensor tegangan dan beban dihubungkan secara paralel. Berikut adalah hasil pengujian pengukuran atau kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus:

Tabel 3. 1 Data Hasil Kalibrasi Sensor Arus dan Tegangan

dc PSU		logger A		Error		logger B		Error	
Teg (V)	Arus (I)	Teg (V)	Arus (I)	Teg (%)	Arus (%)	Teg (V)	Arus (I)	Teg (%)	Arus (%)
3	0,12	2,99	0,13	0,33	8,33	3,02	0,13	0,67	8,33
5	0,2	4,96	0,21	0,8	5	4,99	0,21	0,2	5
8	0,32	7,99	0,32	0,125	0	8,02	0,32	0,25	0
10	0,4	10,02	0,4	0,2	0	10,04	0,4	0,4	0
13	0,52	12,96	0,51	0,30	1,92	12,97	0,51	0,23	1,92
15	0,6	15,04	0,59	0,26	1,66	15,04	0,59	0,26	1,66
18	0,72	18,01	0,71	0,05	1,38	17,98	0,71	0,11	1,38
20	0,8	20,05	0,79	0,25	1,25	20,02	0,79	0,1	1,25
23	0,92	22,98	0,9	0,08	2,17	23,02	0,9	0,08	2,17
Error rata-rata				0,26	2,41			0,25	2,41

Dari hasil kalibrasi didapatkan hasil dari pengambilan 9 data sample didapatkan nilai error untuk data logger A pengukuran tegangan

berkisar dari 0,2% sampai 0,33% dengan rata-rata error sebesar 0,26%. Sedangkan untuk pengukuran arus didapatkan hasil error berkisar dari 0% sampai 8,3% dengan rata-rata sebesar 2,41%. Sedangkan untuk data logger B didapatkan hasil error untuk tegangan berkisar dari 0,1% sampai 0,6% dengan rata-rata 0,25%. Sedangkan untuk pengukuran arus didapatkan hasil error berkisar dari 0% sampai 8,3% dengan rata-rata sebesar 2,41%.

3.2.2 Kalibrasi Pengukuran Suhu

Untuk pengujian pengukuran suhu pada data logger menggunakan kalibrator berupa termometer jenis infra merah merk Dekko tipe FR7811. Termometer jenis ini sering digunakan untuk mengukur suhu suatu benda. Kalibrasi dilakukan dengan cara meletakkan sensor suhu NTC pada suatu benda, hasil pengukuran dari NTC akan dibandingkan dengan hasil pengukuran dari termometer infra merah, sehingga didapatkan nilai prosentase galat pembacaan atau error.



Gambar 3. 8 Termometer Infra Merah

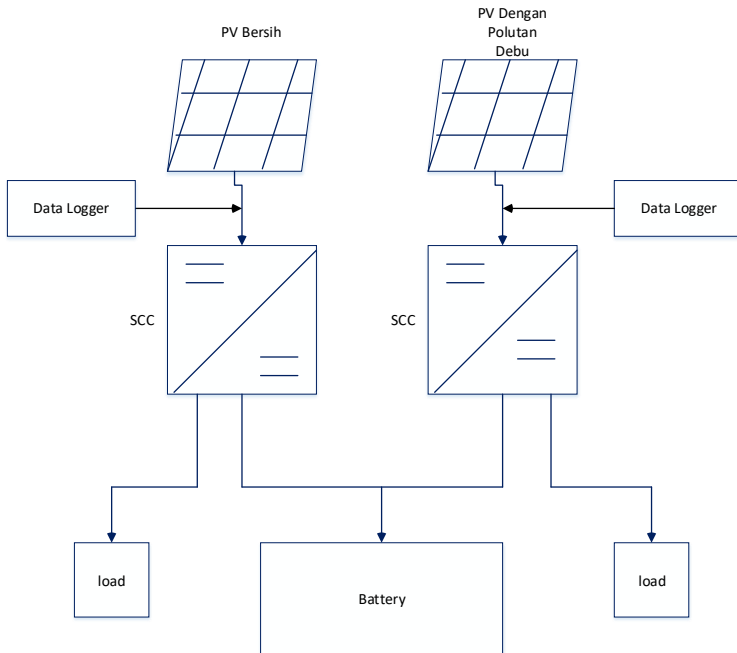
Hasil perbandingan pengukuran dari sensor NTC dan termometer infra merah ditunjukkan pada Tabel 3.2:

Tabel 3. 2 Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

Hasil Pengukuran Termometer (°C)	Hasil Pengukuran Data Logger A (°C)	Error (%)	Hasil Pengukuran Data Logger B (°C)	Error (%)
17.4	17.48	0,45	17,52	0,68
23.4	23.51	0,47	23.56	0,68
32.9	33.10	0.61	33.12	0.66
40.5	41.05	1.35	41.13	1.55
65.5	67.10	2.44	67.23	2.64

3.3 Perancangan Sistem

Sistem yang digunakan untuk melakukan pengujian pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yaitu panel surya atau *photovoltaic*, solar charge controller, baterai, dan juga beban. Semua komponen masing masing sejumlah dua buah dengan spesifikasi yang identik baik itu panel *photovoltaic*, solar charge controller, baterai dan juga beban. Sistem diujikan dalam satu waktu bersamaan sehingga diharapkan memiliki kondisi yang se-identik mungkin antara kedua sistem tersebut untuk itu diperoleh perbedaan nilai daya luaran dari panel surya yang hanya disebabkan oleh adanya penumpukan polutan berupa debu yang menempel pada permukaan panel *photovoltaic*. Skema yang digunakan adalah dengan menghubungkan panel *photovoltaic* pada solar charge controller atau SCC lalu output dari SCC akan masuk ke baterai dan juga ke beban berupa resistor.



Gambar 3. 9 Skema Sistem

3.3.1 Panel *Photovoltaic*

Pada sistem ini panel surya yang digunakan merupakan dua buah panel surya berjenis polycrystalline silicon dengan daya luaran masing masing adalah 80 watt peak. Dimana dari spesifikasi, panel *photovoltaic* tersebut akan menghasilkan tegangan maksimum saat beroperasi adalah 17,5 volt sedangkan arusnya adalah 2,85 ampere. Nilai tegangan dan arus tersebut didapatkan dalam kondisi test ideal dimana suhu atau temperature permukaan panel adalah 25 °C dan radiasi sebesar 1000 watt/meter. Tentu jika dioperasikan panel *photovoltaic* tidak selalu mengeluarkan nilai arus dan tegangan tersebut, tergantung besar nilai radiasi pada waktu itu dan juga suhu pada permukaan panel. Detail spesifikasi dari panel surya yang digunakan pada sistem adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Tabel Spesifikasi Panel *Photovoltaic*

Model	RD80P-18
Rated Power	80 Watt peak
Open Circuit Voltage (Voc)	21,6 Volt
Short Circuit Current (Isc)	4,88 Ampere
Maximum Power Voltage	17,5 Volt
Maximum Power Current	4,57 Ampere
Dimension	860x670 mm



Gambar 3. 10 Spesifikasi Panel *Photovoltaic*

3.3.2 Solar Charge Controller (SCC)

Fungsi utama dari solar charge controller adalah melakukan on-off pada proses pengisian daya atau charging pada baterai untuk menghindari proses overcharge dan overdischarge. Solar charge controller akan menghentikan proses charging yang bersumber dari panel *photovoltaic* ke baterai dengan cara menghentikan aliran arus yang mengalir pada baterai, sedangkan tegangannya akan dijaga agar kondisi baterai tetap terjaga. Solar charge controller ini juga akan menghentikan proses konsumsi daya dari beban ke baterai saat jumlah daya pada baterai sudah hampir habis. Selain untuk proteksi dari overcharge dan overdischarge, didalam solar charge controller ini juga terdapat DC-DC converter yang digunakan untuk mengatur tegangan dari *photovoltaic* agar dapat diterima oleh baterai.

Jenis Solar Charge Controller yang digunakan pada sistem ini berjenis MPPT atau Maximum Power Point Tracker. MPPT merupakan suatu rangkaian elektronis yang berguna untuk memaksimalkan daya dari *photovoltaic*. Sehingga dengan MPPT daya keluaran akan selalu pada titik MPP(Maximum Power Point) walaupun nilai dayanya bervariasi tergantung besar radiasi cahanya. Banyak jenis algoritma yang digunakan untuk menjaga agar daya yang dihasilkan dari panel *photovoltaic* selalu pada titik MPP salah satunya adalah metode *perturb and observe*. Metode ini akan menjaga daya selalu pada posisi MPP dengan mula mula mengukur daya yang dihasilkan dari *photovoltaic*, lalu membandingkan nilai daya yang sekarang terukur dan pengukuran daya sebelumnya, jika selisih daya yang didapatkan tidak sama dengan nol maka akan dilakukan penambahan atau pengurangan nilai tegangan sesuai nilai tegangan referensi yang ditetapkan. Proses berulang sampai selisih kedua pengukuran daya adalah nol. Saat nilai selisih daya sama dengan nol, nilai arus tegangan dan daya akan dijadikan nilai referensi baru.

SCC yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis MPPT keluaran perusahaan EP SOLAR tipe 1210A dengan nilai rated current adala 10A dan tegangan untuk baterai 12/24 volt.



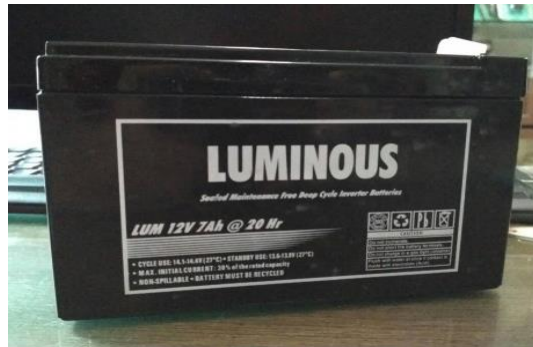
Gambar 3. 11 Solar Charge Controller EPEVER 1210A

3.3.3 Baterai

Baterai merupakan komponen yang cukup penting dalam pembangkitan menggunakan energi matahari, yaitu sebagai tempat penyimpanan energi berupa daya listrik yang dihasilkan oleh panel *photovoltaic*. Saat kondisi tidak mendukung, yakni saat tingkat radiasi

rendah atau hilang (saat malam) baterai yang akan menyuplai daya ke beban karena tidak adanya arus yang diproduksi oleh panel *photovoltaic*.

Baterai yang digunakan pada sistem pengujian merupakan baterai dengan tegangan 12 volt dan arus 7 Ampere Hour merk Luminous.



Gambar 3. 12 Baterai Luminous 12V 7AH

3.3.4 Beban

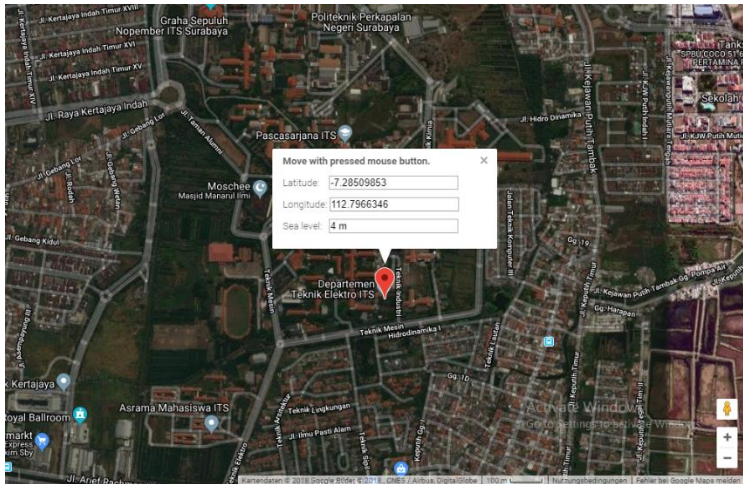
Beban yang digunakan pada sistem ini adalah sebuah lampu 25 watt untuk masing masing panel *photovoltaic*. Beban tersebut digunakan agar saat baterai sudah penuh akan tetap ada arus yang mengalir.

3.4 Pengambilan Data

Setelah sistem dan data logger siap proses selanjutnya yang akan dilakukan adalah pengambilan data atau pengujian. Metode pengujian yang dilakukan adalah dengan menempatkan dua sistem *photovoltaic* yang identik satu sama lain dari seluruh komponen, lalu ditempatkan pada suatu tempat yang sama dan pada waktu yang sama pula. Satu *photovoltaic* akan dibiarkan saja bersih tanpa adanya polutan, sedangkan satu sistem lainnya akan diberi polutan berupa debu pada permukaan panel *photovoltaic*. Pemberian polutan berupa debu dilakukan secara bertahap 2 gram hingga 10 gram. Penyebaran polutan diatas panel *photovoltaic* dibuat merata ke seluruh permukaan. Daya keluaran kedua *photovoltaic* akan diamati, dibandingkan dan kemudian dianalisa. Satu sistem dengan panel *photovoltaic* yang bersih akan dijadikan sebagai

acuan atau referensi perhitungan degradasi atau penurunan dari daya luaran dari panel *photovoltaic* tersebut.

Pengambilan data dilakukan diwilayah kampus Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dimana latitude dan longitude nya adalah sebagai berikut -7.2823 N dan 112.7948 E.



Gambar 3. 13 Lokasi Pengambilan Data [15]

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian *Photovoltaic*

Pengambilan data dilakukan secara bertahap dengan cara merekayasa adanya polutan yaitu dengan menaburkan debu mulai dari 2 gram hingga 30 gram dengan rentang 2 gram ke salah satu permukaan panel *photovoltaic* dengan luas permukaan $0,57 \text{ m}^2$. Pengambilan data dilakukan pada pukul 09:00 pagi hingga pukul 16:00 sore. Berikut adalah foto dari penambahan debu diatas permukaan *photovoltaic*.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

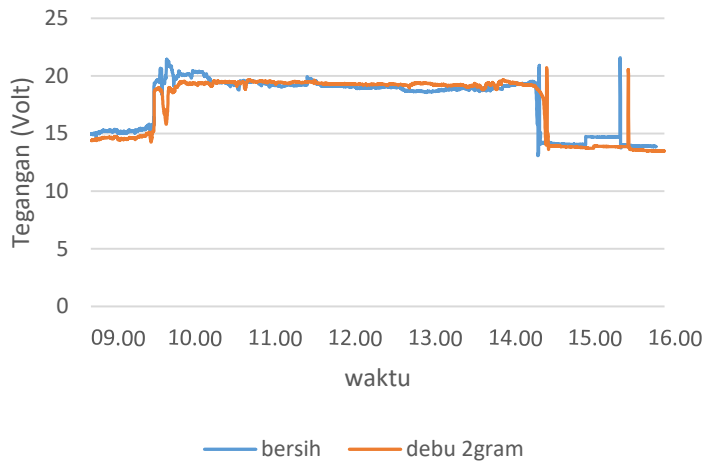


(g)

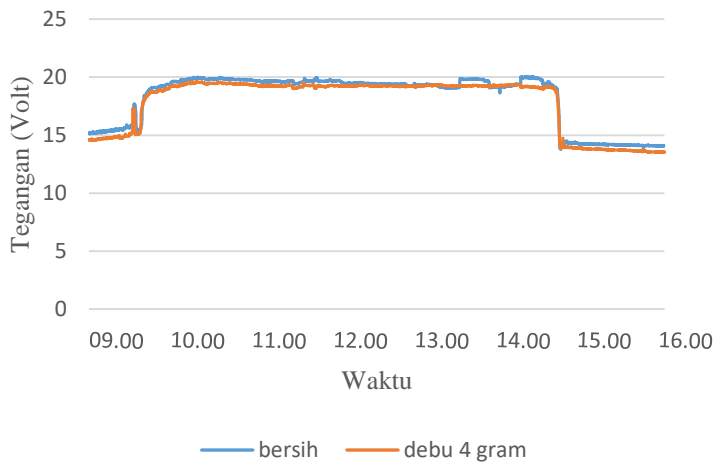
Gambar 4. 1 Pengujian Panel *Photovoltaic* dengan debu (a). 2 gram (b). 4 gram (c). 6 gram (d). 8 gram (e). 10 gram (f) 20 gram (g) 30 gram

4.2 Pengaruh Polutan Debu Terhadap Tegangan *Photovoltaic*

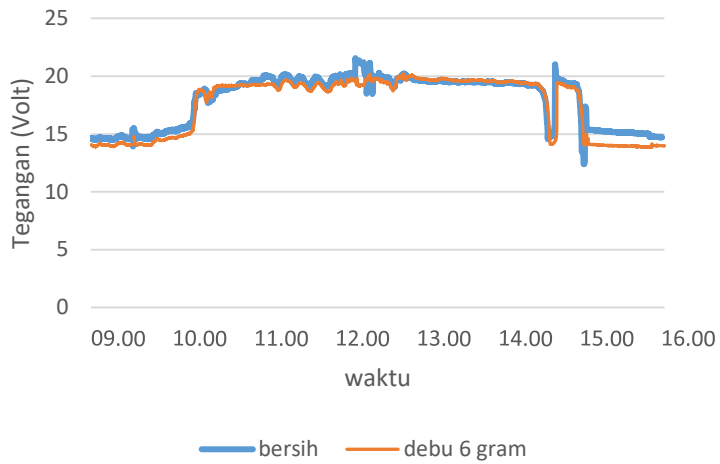
Pada proses pengambilan data salah satu parameter yang diamati adalah parameter tegangan dimana pada pengukuran tersebut didapat hasil pengukuran tegangan oleh data logger untuk masing masing panel *photovoltaic*, dari pengukuran nilai tegangan didapat kurva untuk setiap tingkat polutan debu adalah sebagai berikut:



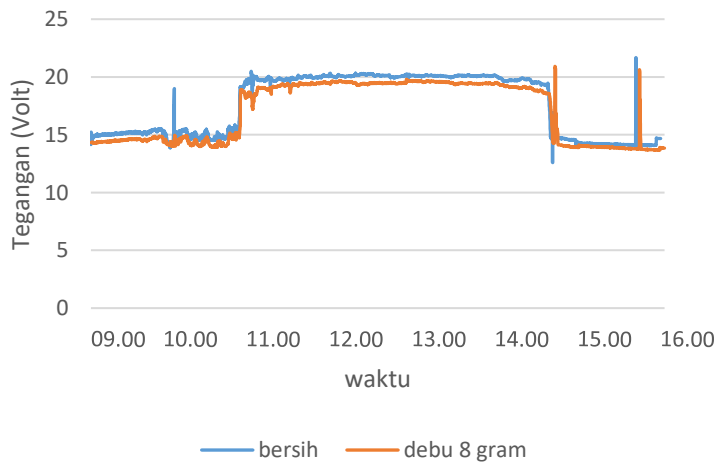
(a)



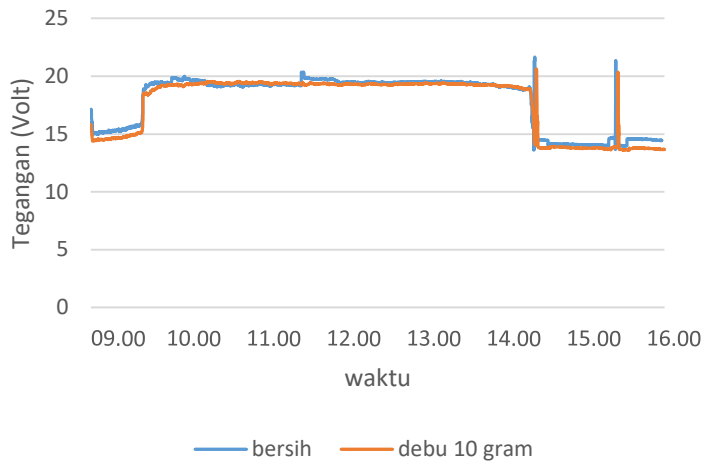
(b)



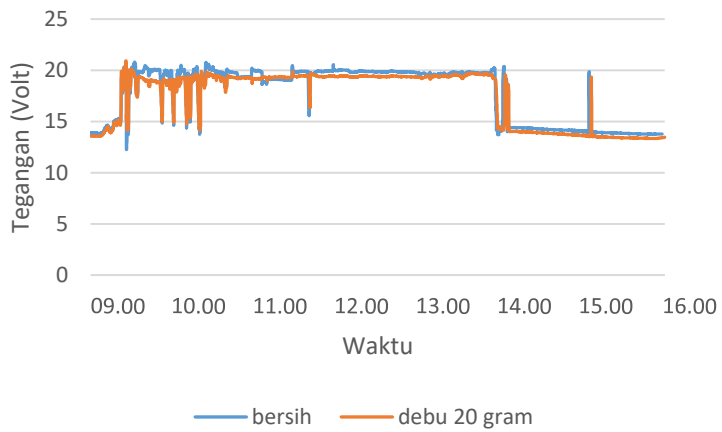
(c)



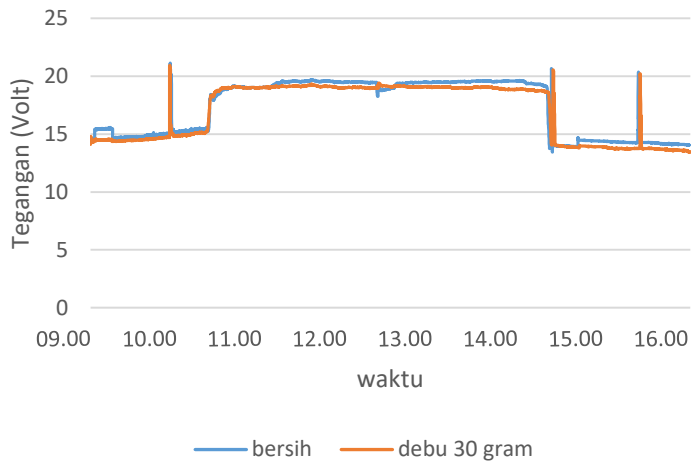
(d)



(e)

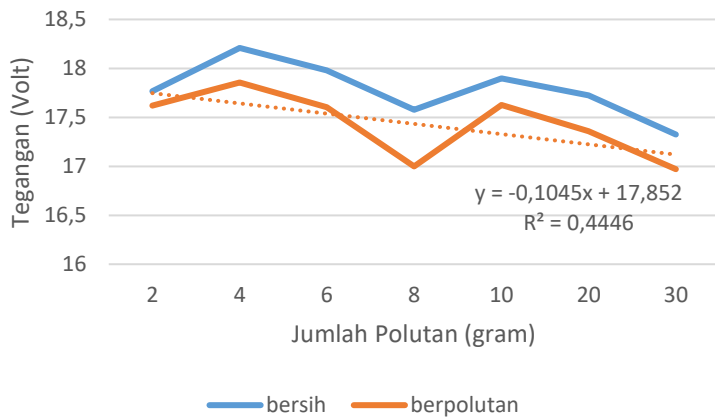


(f)



(g)

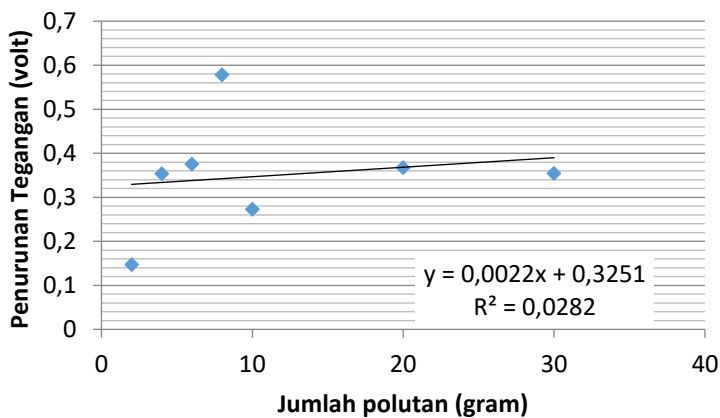
Gambar 4. 2 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Tegangan *Photovoltaic* (a) 2 gram (b) 4 gram (c) 6 gram (d) 8 gram (e) 10 gram (f) 20 gram (g) 30 gram



Gambar 4. 3 Kurva Pengaruh Polutan Terhadap Tegangan Keluaran

Tabel 4. 1 Pengaruh Debu Terhadap Tegangan *Photovoltaic*

Akumulasi Debu (gram)	Rata- Rata Tegangan <i>Photovoltaic</i> Bersih (Volt)	Rata- Rata Tegangan <i>Photovoltaic</i> Berdebu (Volt)	Penurunan Tegangan (Volt)
2	17,768111	17,621028	0,147083
4	18,208938	17,855694	0,3532447
6	17,97983	17,604326	0,3755048
8	17,577347	16,999271	0,578076
10	17,898414	17,625495	0,2729189
20	17,72478	17,3573844	0,367392
30	17,32489	16,9705922	0,354295



Gambar 4. 4 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Tegangan

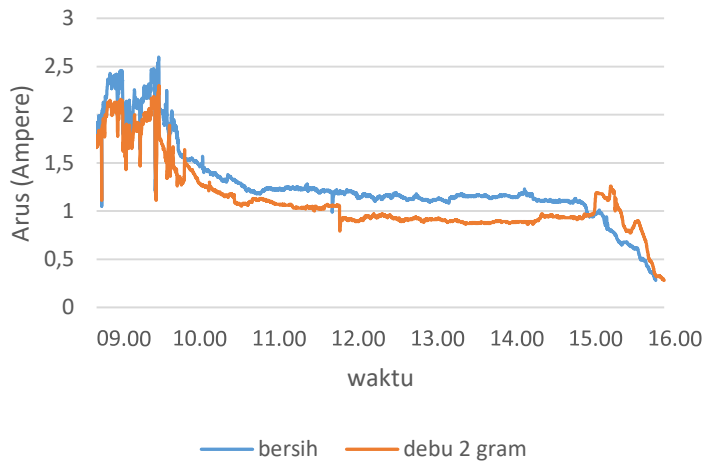
Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa nilai tegangan kedua panel dari setiap *sample* debu hampir sama, hanya terjadi sedikit

penurunan tegangan pada panel dengan debu pada permukaanya. Adanya sedikit penurunan tegangan disebabkan karena berkurangnya jumlah radiasi yang diterima permukaan panel *photovoltaic*, sesuai kurva I-V pada bab sebelumnya bahwa berkurangnya intensitas cahaya matahari karena debu tidak terlalu berpengaruh pada nilai tegangannya. Nilai penurunan terbesar terdapat pada sample debu sebesar 8 gram dimana memiliki penurunan sebesar mencapai 0,57 Volt. Fluktuasi penurunan tegangan terjadi pada sample debu 10 gram, dapat dilihat pada tabel 4.1 dan pada kurva (d) dan (e) dimana prosentase nilai penurunan tegangan justru lebih besar pada sample 8 gram, ini kemungkinan disebabkan karena *error* pembacaan dari sensor tegangan pada *data logger*. Adanya lonjakan tegangan dipengaruhi oleh SOC atau *State Of Charge* dari baterai, dimana saat baterai dalam kondisi kosong maka tegangan berkisar antara 13 hingga 15 volt, dan saat baterai penuh tegangan akan naik menjadi sekitar 20 volt, ini terjadi karena saat baterai penuh panel akan hanya akan melayani beban, dan saat saat baterai kembali dalam keadaan kosong, tegangan akan kembali turun menjadi sekitar 13 hingga 15 volt.

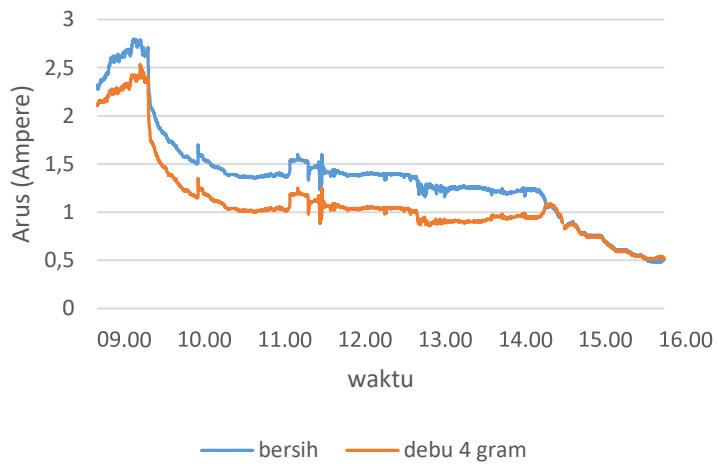
Dari hasil pengujian dan didapatkan nilai rata rata tegangan *photovoltaic* dalam periode pengujian untuk masing masing sample, dari data tersebut dapat di plot kurva hubungan jumlah debu terhadap penurunan tegangan. Dimana didapatkan formula $y = 0,0238x + 0,2024$.

4.3 Pengaruh Polutan Debu Terhadap Arus *Photovoltaic*

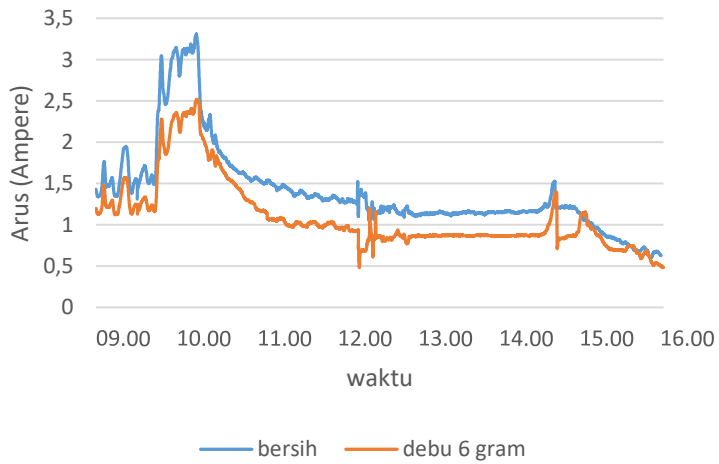
Pada proses pengambilan data salah satu parameter yang diamati adalah parameter arus dimana pada pengukuran tersebut didapat hasil pengukuran arus oleh data logger untuk masing masing panel *photovoltaic*, dari pengukuran nilai arus didapat kurva untuk setiap tingkat polutan debu adalah sebagai berikut:



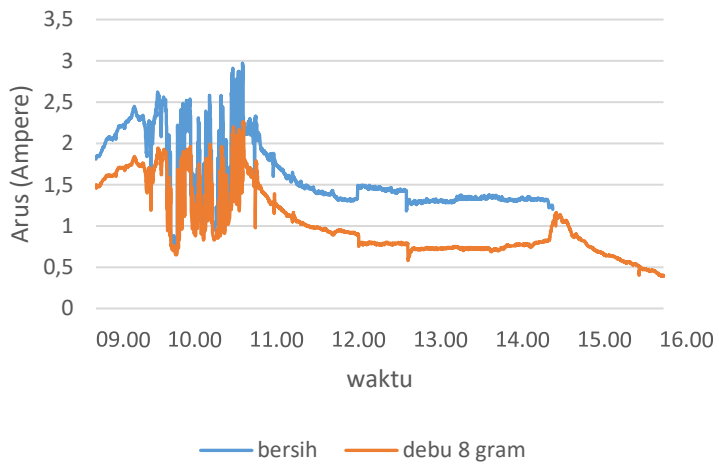
(a)



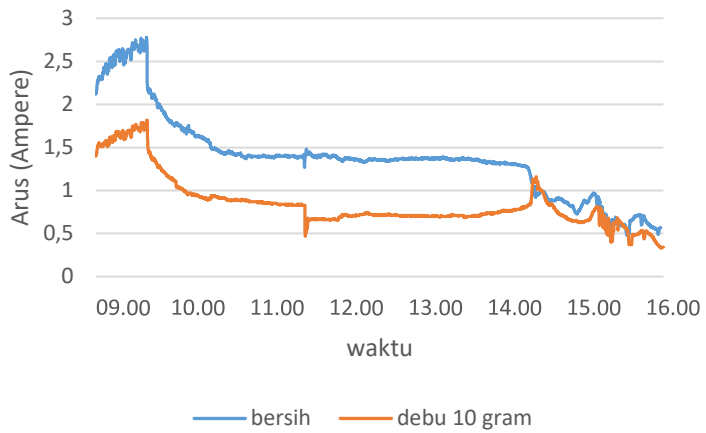
(b)



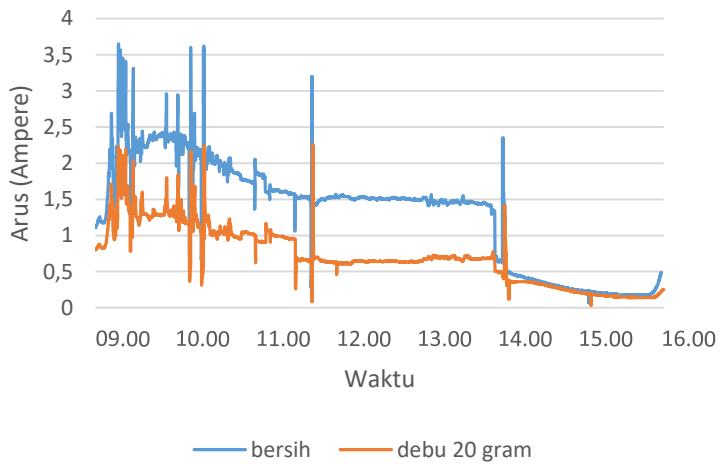
(c)



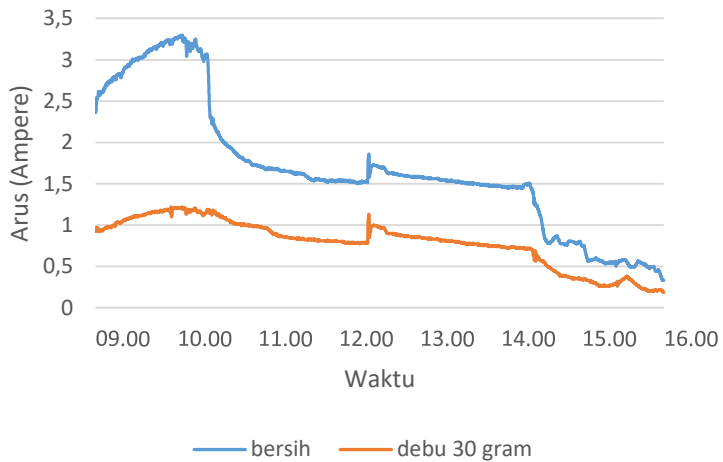
(d)



(e)

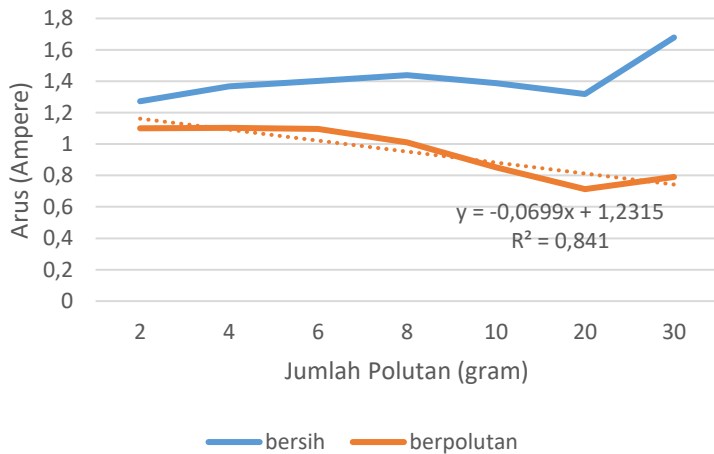


(f)



(g)

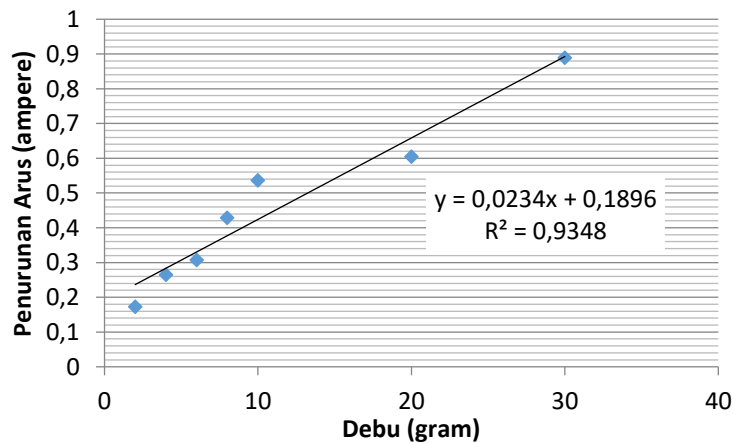
Gambar 4. 5 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Arus *Photovoltaic* (a) 2 gram (b) 4 gram (c) 6 gram (d) 8 gram (e) 10 gram (f) 20 gram (g) 30 gram



Gambar 4. 6 Kurva Pengaruh Polutan Terhadap Arus Keluaran

Tabel 4. 2 Pengaruh Debu Terhadap Arus *Photovoltaic*

Akumulasi Debu (gram)	Rata- Rata Arus <i>Photovoltaic</i> Bersih (Ampere)	Rata- Rata Arus <i>Photovoltaic</i> Berdebu (Ampere)	Penurunan Arus (Ampere)
2	1,2723944	1,1001037	0,1722907
4	1,3681246	1,1032461	0,2648785
6	1,4030154	1,0959948	0,3070205
8	1,4390833	1,0106274	0,4284559
10	1,3880986	0,8516465	0,5364521
20	1,317482	0,713016	0,6044657
30	1,678528	0,789549	0,8889785



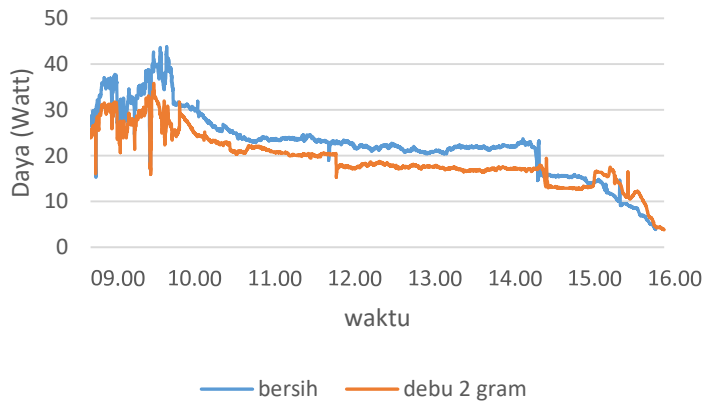
Gambar 4. 7 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Arus

Dari hasil uji didapat hasil yakni terjadi penurunan atau degradasi arus luaran dari panel *photovoltaic* dengan tumpukan debu pada permukaannya. Semakin tinggi akumulasi atau jumlah debu pada permukaan panel *photovoltaic* maka arus juga akan semakin menurun, hal ini sesuai dengan pemodelan sebuah sel *photovoltaic* dimana sebuah sel *photovoltaic* dimodelkan sebagai sumber arus. Sesuai dengan kurva karakteristik *photovoltaic* I-V bahwa arus luaran *photovoltaic* sangat dipengaruhi pada intensitas matahari yang diterima suatu *photovoltaic* dan lebih dominan jika dibandingkan dengan perubahan tegangan. Adanya tumpukan debu mengakibatkan terhalangnya sinar matahari yang diterima panel *photovoltaic*, sehingga sinar matahari yang tersedia tidak mampu diserap dengan sempurna dan dikonversi menjadi arus oleh panel *photovoltaic*. Naik turunnya arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* juga terpengaruhi kondisi SOC dari baterai. Selain SOC, Pada kurva (d) yakni sample 8 gram dimana pada periode awal pengambilan data arus mengalami fluktuasi, hal ini dipengaruhi kondisi cuaca dimana sinar matahari yang diterima panel *photovoltaic* juga fluktuatif. Nilai penurunan arus terbesar terjadi pada sample 30 gram, dimana jika dibandingkan dengan panel yang bersih tanpa debu penurunannya mencapai 0,88 Ampere.

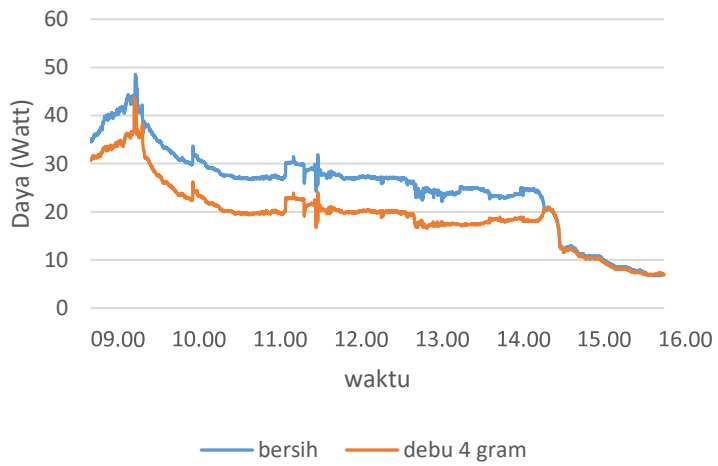
Dari hasil pengujian dan didapatkan nilai rata rata arus *photovoltaic* dalam periode pengujian untuk masing masing sample, dari data tersebut dapat di plot kurva hubungan jumlah debu terhadap penurunan arus. Dimana didapatkan formula dari garis hasil plot $y = 0,0234x + 0,1896$.

4.4 Pengaruh Polutan Debu Terhadap Daya Luaran *Photovoltaic*

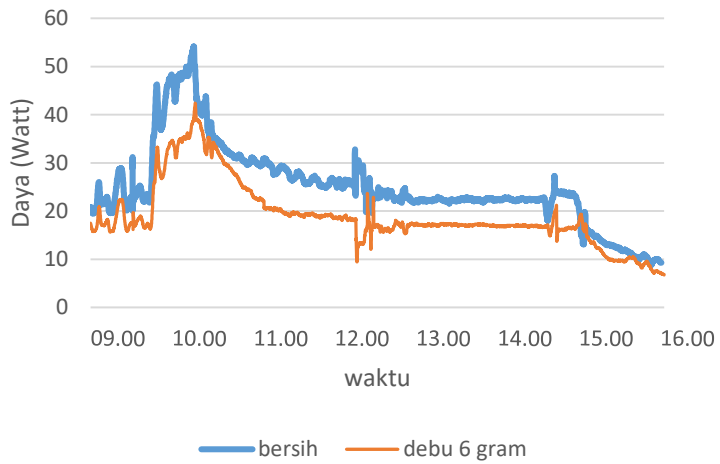
Setelah didapatkan nilai arus dan tegangan, dimana daya merupakan tegangan dikalikan arus maka nilai daya dapat diperoleh untuk masing masing panel *photovoltaic*, dari nilai daya yang didapat sehingga kurva daya *output* dari masing masing *photovoltaic* untuk setiap tingkat polutan debu adalah sebagai berikut:



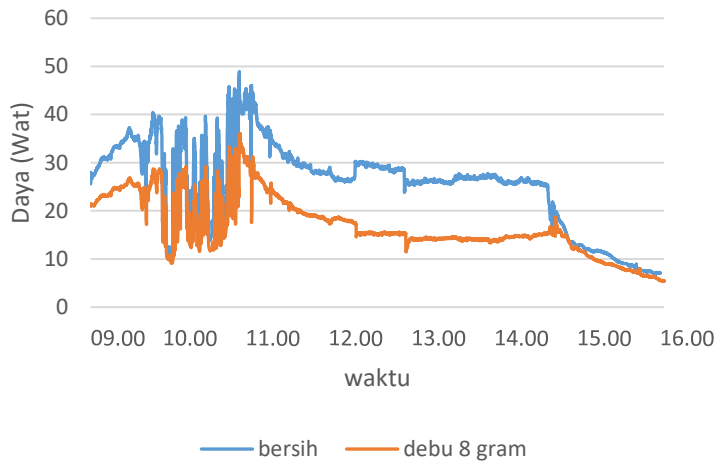
(a)



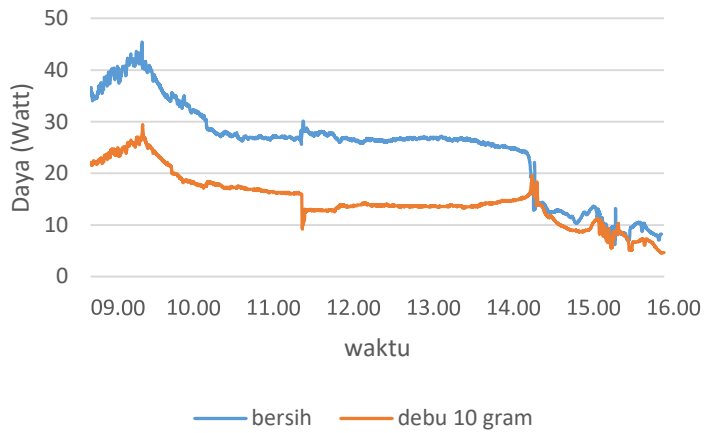
(b)



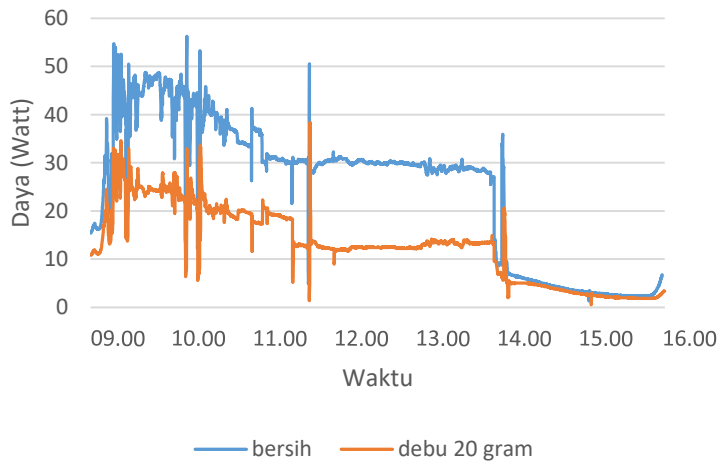
(c)



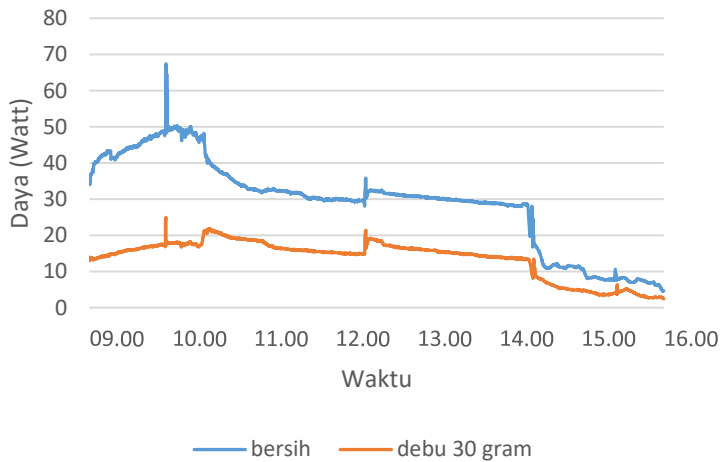
(d)



(e)

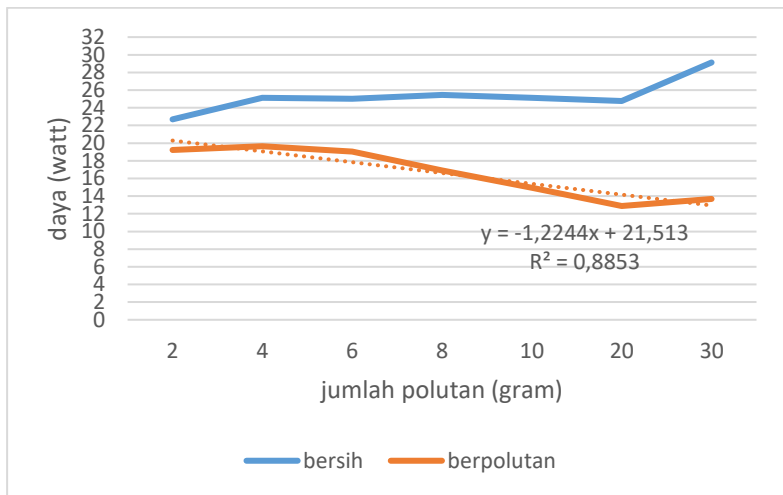


(f)



(g)

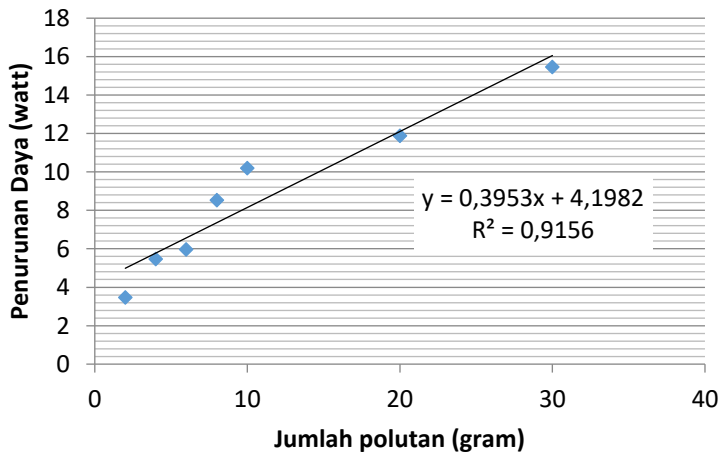
Gambar 4. 8 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Daya *Photovoltaic* (a) 2 gram (b) 4 gram (c) 6 gram (d) 8 gram (e) 10 gram gram (f) 20 gram (g) 30 gram



Gambar 4. 9 Kurva Pengaruh Polutan Terhadap Daya Keluaran

Tabel 4. 3 Pengaruh Debu Terhadap Daya *Photovoltaic*

Akumulasi Debu (gram)	Rata- Rata Daya <i>Photovoltaic</i> Bersih (watt)	Rata- Rata Daya <i>Photovoltaic</i> Berdebu (watt)	Penurunan Daya (watt)
2	22,689247	19,211399	3,4778479
4	25,119742	19,650656	5,4690865
6	25,018684	19,050099	5,9685857
8	25,450019	16,910961	8,5390577
10	25,133664	14,934211	10,199453
20	24,77644	12,88382	11,892623
30	29,12896	13,66709	15,461865



Gambar 4. 10 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Daya

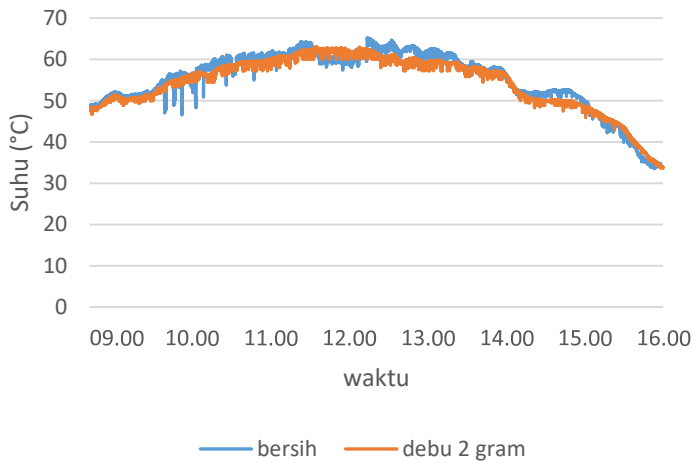
Dari hasil pengujian terlihat jelas perbedaan daya luaran yang dihasilkan panel tanpa debu dan panel dengan debu, terdapat degradasi atau penurunan daya pada panel dengan tumpukan debu di permukaannya. Penurunan daya ini sebanding dengan adanya penurunan arus, dimana $P \text{ (daya)} = V \text{ (tegangan)} \times I \text{ (Arus)}$ dengan nilai tegangan yang cenderung sama antara kedua panel *photovoltaic*, maka nilai daya akan sangat dipengaruhi oleh arus luaran yang dihasilkan dari panel *photovoltaic*. Dimana arus sangat dipengaruhi oleh cahaya matahari yang diterima oleh sel *photovoltaic*, maka daya luarannya juga sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima sel *photovoltaic*. Adanya tumpukan debu akan menurunkan intensitas cahaya yang diterima oleh permukaan panel, sesuai dengan kurva karakteristik P-V dari *photovoltaic*, dimana jika intensitas cahaya turun maka dayanya juga akan turun. Pada periode sekitar pukul 15:00 sampai 16:00 intensitas cahaya matahari berkurang drastis yang diikuti oleh penurunan arus dan daya luaran yang dihasilkan *photovoltaic*, sehingga pada saat tersebut arus dan daya luaran antara panel bersih dengan panel dengan akumulasi debu tidak terlalu signifikan. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang ada maka perbedaan antara arus dan daya dari kedua panel akan semakin signifikan.

Penurunan daya terbesar dan terkecil terjadi pada sample 30 dan 2 gram dapat dilihat pada kurva (g) dan juga kurva (a) dimana penurunan daya untuk kurva (g) 30 gram adalah sebesar 15,4 Watt sedangkan untuk penurunan daya pada kurva (a) adalah 3,477 Watt.

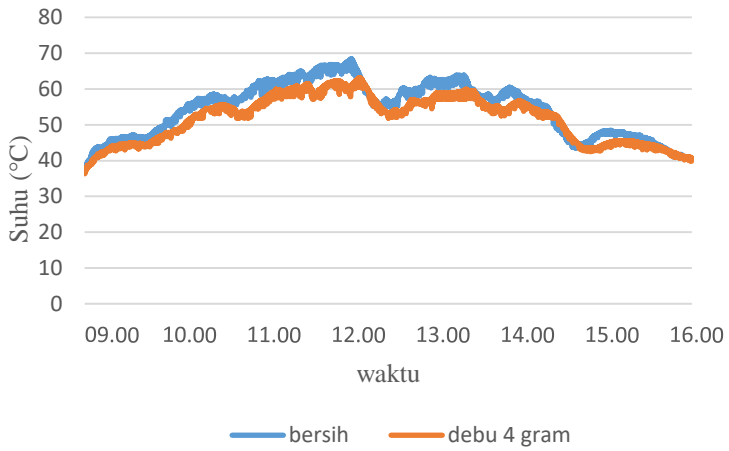
Dari hasil pengujian dan didapatkan nilai rata rata daya *photovoltaic* dalam periode pengujian untuk masing masing sample, dari data tersebut dapat di plot kurva hubungan jumlah debu terhadap penurunan daya *photovoltaic*. Dimana didapatkan formula dari garis hasil plot $y = 0,3953x + 4,1982$.

4.5 Pengaruh Polutan Debu Terhadap Suhu Permukaan *Photovoltaic*

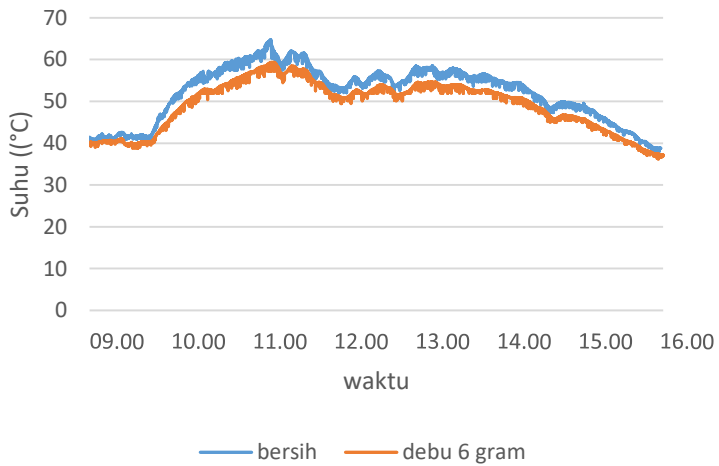
Pada proses pengambilan data salah satu parameter yang diamati adalah parameter suhu permukaan *photovoltaic* dimana pada pengukuran tersebut didapat hasil pengukuran suhu permukaan oleh data logger untuk masing masing panel *photovoltaic*, dari pengukuran nilai suhu permukaan didapat kurva untuk setiap tingkat polutan debu adalah sebagai berikut:



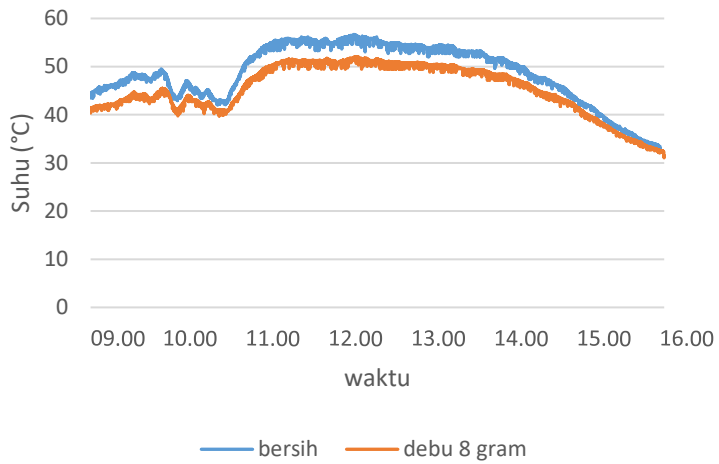
(a)



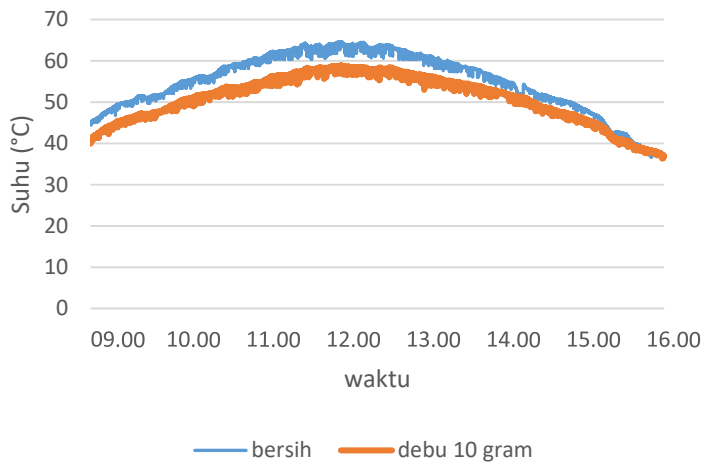
(b)



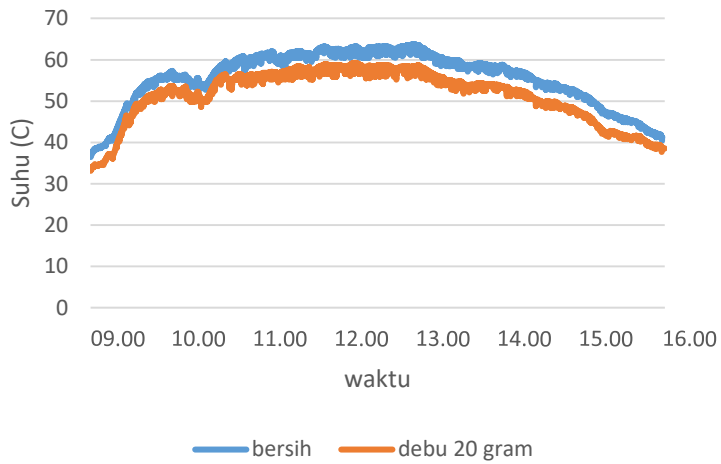
(c)



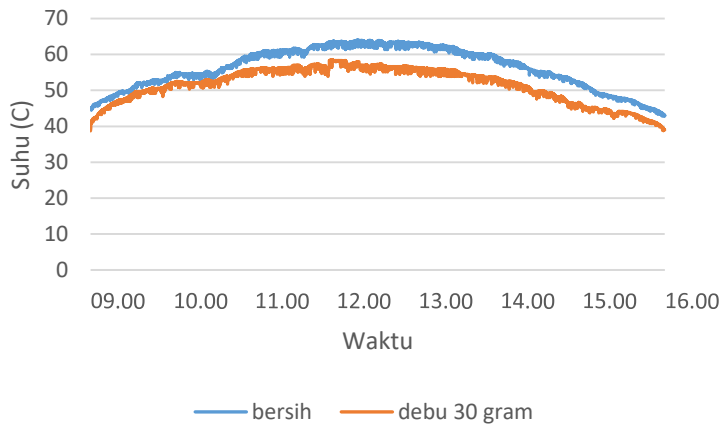
(d)



(e)

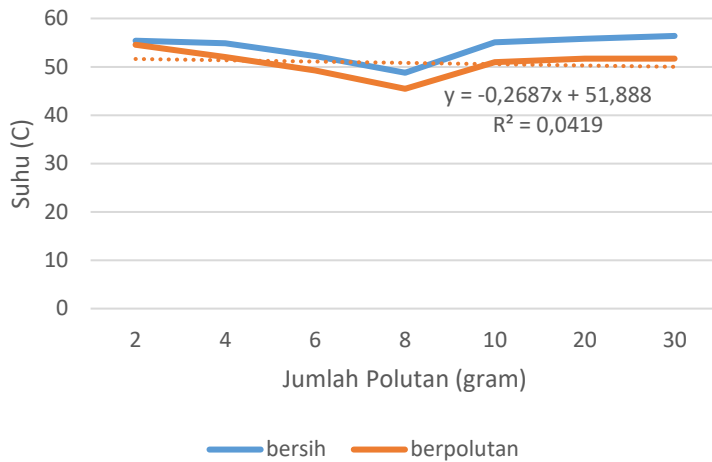


(f)



(g)

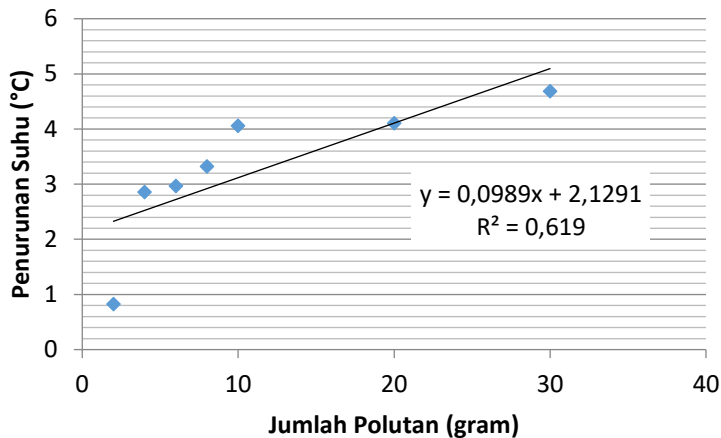
Gambar 4. 11 Kurva Pengaruh Polutan Debu Pada Suhu Permukaan Photovoltaic (a) 2 gram (b) 4 gram (c) 6 gram (d) 8 gram (e) 10 gram (f) 20 gram (g) 30 gram



Gambar 4. 12 Kurva Pengaruh Polutan Terhadap Suhu Permukaan

Tabel 4. 4 Pengaruh Debu Terhadap Suhu Permukaan *Photovoltaic*

Akumulasi Debu (gram)	Rata- Rata Suhu <i>Photovoltaic</i> Bersih (°C)	Rata- Rata Suhu <i>Photovoltaic</i> Berdebu (°C)	Penurunan Suhu (°C)
2	55,38759	54,563636	0,8239541
4	54,875614	52,021745	2,853869
6	52,235753	49,267899	2,9678536
8	48,774287	45,452769	3,321518
10	55,05389	50,994372	4,0595178
20	55,78826	51,68453	4,1037341
30	56,38915	51,70536	4,6837989



Gambar 4. 13 Kurva Hubungan Jumlah Debu dengan Penurunan Daya

Dari hasil pengujian didapat hasil bahwa adanya polutan berupa debu pada permukaan panel *photovoltaic* akan mempengaruhi dari suhu panel itu sendiri. Karena terhambatnya penyerapan sinar matahari yang dialami oleh panel dengan debu mengakibatkan suhu permukaan *photovoltaic* juga ikut turun. Semakin banyak debu yang menempel pada permukaan panel *photovoltaic*, maka akan semakin kecil intensitas cahaya matahari yang diterima sehingga semakin kecil pula nilai suhu permukaannya. Karena selain energi cahaya yang diserap, cahaya matahari juga mengakibatkan naiknya suhu dari permukaan *photovoltaic*. Nilai penurunan suhu terbesar terdapat pada sample 30 gram pada kurva (g) besarnya penurunan suhu permukaan *photovoltaic* adalah 4,6 °C sedangkan untuk penurunan paling kecil terjadi pada sample 2 gram, besarnya penurunan suhu permukaan jika dibandingkan dengan panel *photovoltaic* bersih yakni 0,82 °C.

Dari hasil pengujian dan didapatkan nilai rata rata suhu *photovoltaic* dalam periode pengujian untuk masing masing sample, dari data tersebut dapat di plot kurva hubungan jumlah debu terhadap penurunan suhu permukaan *photovoltaic*. Dimana didapatkan formula dari garis hasil plot $y = 0,0989x + 2,1291$.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh polutan berupa debu terhadap performa *photovoltaic*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Adanya debu pada permukaan *photovoltaic* akan sedikit mempengaruhi nilai tegangan dari panel *photovoltaic*. Semakin banyak akumulasi debu pada permukaan panel *photovoltaic* maka tegangan keluaran dari panel *photovoltaic* menyebabkan nilai tegangan semakin kecil. Penurunan nilai tegangan pada panel *photovoltaic* dengan polutan debu pada permukaannya tidak terlalu signifikan. Didapat formula penurunan tegangan *photovoltaic* dikarenakan debu pada permukaannya sebesar $y = 0,0238x + 0,2024$.
2. Adanya debu pada permukaan *photovoltaic* akan mempengaruhi arus yang dihasilkan dari panel *photovoltaic*. Semakin banyak akumulasi debu pada permukaan panel *photovoltaic* akan menyebabkan nilai arus yang dihasilkan panel *photovoltaic* akan semakin kecil. Terjadi penurunan arus yang signifikan pada panel dengan polutan debu. Didapat formula penurunan tegangan *photovoltaic* dikarenakan debu pada permukaannya sebesar $y = 0,0234x + 0,1896$.
3. Adanya debu pada permukaan *photovoltaic* akan mempengaruhi daya luaran dari panel *photovoltaic*. Semakin banyak akumulasi debu pada permukaan panel *photovoltaic* akan diiringi dengan penurunan daya yang signifikan yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Penurunan daya sebanding dengan penurunan nilai arus *photovoltaic*. Didapat formula penurunan tegangan *photovoltaic* dikarenakan debu pada permukaannya sebesar $y = 0,3953x + 4,1982$.
4. Semakin banyak akumulasi debu pada permukaan panel *photovoltaic* maka juga akan mempengaruhi suhu permukaan dari panel *photovoltaic*. Semakin banyak debu yang ada pada permukaannya maka nilai suhunya juga akan semakin kecil.

Didapat formula penurunan tegangan *photovoltaic* dikarenakan debu pada permukaannya sebesar $y = 0,0989x + 2,1291$.

5.2 Saran

Dengan mempertimbangkan hasil studi tugas akhir yang sudah dilakukan, saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan *monitoring* dan *data logging* untuk arus, dan juga tegangan yang masuk ke baterai sehingga dapat diketahui nilai SOC dari baterai dan daya yang masuk ke baterai.
2. Untuk studi selanjutnya dapat dilakukan dengan pengambilan data dengan polutan debu alami yang ada pada lingkungan sekitar sehingga nilai degradasi atau penurunan setiap parameter akan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Asy'ari, "Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya", 2012.
- [2] N. Yanti and M. Ulfah, "Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Clustering Polutan Kimia Penyebab Pencemaran Udara", Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Balikpapan, 2015.
- [3] H. Suryawinata, D. Purwanti, and S. Sunardiyo, "Sistem Monitoring Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis ATmega 328 dan Real Time Clock DS1307", Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang, 2017.
- [4] Khwee K. H "Pengaruh Suhu terhadap Kapasitas Sel Surya", Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura, 2013.
- [5] M.T Chaichan, K. Hussein, and B.A Mohammed, "*Effect Of Pollution And Cleaning On Photovoltaic Performance Based On Experimental Study*", *International Journal Of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6, no. 4, 2., 2015.
- [6] A. K Jaafar, K. S Rida, and K. H Al-Asadi, "*The Impact of Dust Accumulation on the PV Panels Outcomes*", *International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS*, Vol. 1, no. 2., 2016.
- [7] M. Gilbert, "*Renewable and efficient electric power system*", Chapter 7- 9. Canada : A John Willey & Sons, 2004.
- [8] Aguilar L "*Feasibility Study of Developing Large Scale Solar PV Project in Ghana: An Economical Analysis*", Department of Energy and Environment, Chalmers University Of Technology, 2015.
- [9] Fachrurrozi, Ashari M, dan Lystyaningrum V, "Perancangan Sistem Monitoring dan Optimasi Berbasis LabView Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Angin", Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [10] Rohmana A, Nugroho G, dan Budiono C, "Analisa Performansi dan Monitoring Solar *Photovoltaic* System (SPS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tuban Jawa Timur", Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [11] Sihombing D.T "Hubungan Kadar Debu Dengan Fungsi Paru Pada Pekerja Proses Press-Packing Di Usaha Penampungan Butut

- Kelurahan Tanjung Mulia Lahir Medan tahun 2013”, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara, 2013.
- [12] Osepp, “*Voltage Sensor Module Schematic*”
<https://www.osepp.com/download/pdf/VoltageSensor.pdf> , 2015
 - [13] Allegro Micro, "*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance CurrentConductor*" ,
<https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx> , 2017
 - [14] Murata, "*NTC Thermistor for Temperature Sensor Thermo StringType*"
<https://www.murata.com/~media/webrenewal/support/library/catalog/products/thermistor/ntc/r44e.ashx> , 2016
 - [15] Google Map, "*Latitude & Longitude Sepuluh Nopember Institute Of Technology*"
<https://www.google.com/maps/@-7.2823728,112.7927085,783m/data=!3m1!1e3> , 2018

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Ikhsan Anwar Fuadi

Tempat, Tanggal Lahir : Kebumen, 24 Agustus 1994

Alamat : Karanganyar, Kebumen

Email : fuadinwr@gmail.com

Riwayat Pendidikan : 1. TK Pancasila

2. SD Negeri Panjatan

3. SMP Negeri 1 Kebumen

4. SMA Negeri 2 Kebumen

5. Universitas Gadjah Mada (D3)

6. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (S1)